

Opinnäytetyö (YAMK)

Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma

Tuotantojohtaminen

2015

Marko Pausio

KUUSISAHATAVARAN LAATU LIIMAPUUN VALMISTUKSESSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Pausio

KUUSISAHATAVARAN LAATU LIIMAPUUN VALMISTUKSESSA

Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tarkoituksena oli kartoittaa ja analysoida yhteistyöyrityksen Late-Rakenteet Oy:n sahatavaratoimittajien eli sahojen toimittaman kuusi-sahatavaran laatu. Laatua tarkasteltiin kolmesta eri näkökulmasta: sahatavaran lujuuslajittelussa syntyvän raaka-ainehukan perusteella, taivutuskoetulosten perusteella ja lujuuslajittelukoneen antamien lujuusluokkien ja varsinkin niiden suhteellisen jakautumisen perusteella (I-lamellien suhteellinen osuus kokonaistoimituksista). Tutkimus pohjautui kokemuseräisen eli empiirisen tiedon analysointiin, joten kaikki edellä mainittu data kerättiin olemassa olevista tietokannoista. Kerätty aineisto luokiteltiin, taulukoitiin ja analysoitiin, jolloin tuloksiksi saatiin helposti tulkittavaa ja ostopäätöstä helpottavaa informaatiota. Yksinkertaisesti tarkoituksena oli järjestää sahatavaratoimittajat laadulliseen paremmuusjärjestykseen.

Opinnäytetyön toissijaisena tarkoituksena oli etsiä tulosten pohjalta eri muuttujien välisiä riippuvuuksia eli korrelaatioita. Toisin sanoen tarkoituksena oli selvittää vaihtelivatko arvot tilastossa yhdessä vai eivät ja mihin suuntaan. Mitään kausaalista selitystä ei kuitenkaan tämän tutkimuksen puitteissa tuloksista pystytty antamaan.

Sahatavaran laadun kokonaisvaltaisen ymmärtämisen kannalta työssä käytiin läpi liimapuun ja sen valmistuksen sekä itse sahatavaran keskeiset laatuvaatimukset ja standardit. Lisäksi kuvattiin kuusen laatuun ja lujuuteen vaikuttavia puun fysiologisia piirteitä.

ASIASANAT: Liimapuu, laadunvalvonta, kuusisahatavara, testaus, kuusen lujuus ja ominaisuudet, sahatavaran lujuuslajittelu

Marko Pausio

SPRUCE TIMBER QUALITY IN GLUED LAMINATED TIMBER

Primary purpose of this Master's thesis was to map and analyze the quality of the spruce timber supplied by the timber suppliers of Late-Rakenteet Ltd. The quality was analyzed from three different perspectives: the loss of raw material because of machine strength grading, the results of the bending test and the results of machine strength grading. The study was an empirical data analysis and the data were collected from existing databases. The collected material was classified, tabulated and analyzed. The aim was to rank the timber suppliers based on the quality of their products. This information is used to facilitate the purchasing process.

The secondary purpose of the thesis was to study the various dependencies between the variables of the results. However, no causal explanation of the results could be found.

To get a comprehensive understanding about the quality of sawn timber, this study presents the quality requirements and standards of glued laminated timber and its manufacturing and raw materials. In addition, the physical properties of wood are described as they influence the quality and strength of spruce as a raw material.

KEYWORDS: Glued laminated timber, quality, spruce timber, testing, strength and properties of spruce, strength grading

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
1.1	Kehittämistyön esittely ja tavoitteet	1
1.2	Late-Rakenteet Oy	2
1.2.1	Laten tuotteet ja toimitetut ratkaisut sekä liimapuun yleiset käyttökohteet.....	3
1.2.2	Laten tuotannon yleiskuvaus	6
1.2.2.1	Lautatarha	6
1.2.2.2	Liimaus	7
1.2.2.3	Viimeistely	9
1.2.3	Hankintatoiminta	10
1.2.3.1	Menekin ennakoiminen yleisesti	10
1.2.3.2	Sahatavaramenekin ennakoiminen ja ostosignaalit.....	11
1.2.3.3	Sahatavaran hankintaprosessin kuvaus ja prosessikaavio	12
2	LIIMAPUU	15
2.1	Liimapuun määritelmä, lujuusluokat ja ominaisuudet.....	16
2.2	Liimapuun vaatimukset.....	19
2.3	Liimapuun historiikki	19
2.4	Liimapuun ja puun tulevaisuuden näkymät sekä ympäristövaikutukset.....	20
2.5	Liimapuun valmistus	22
2.6	Pääraaka-aineet sekä niiden vuorovaikutus	24
3	LIIMAPUUN LAADUN VARMISTUS	25
3.1	Sisäinen laadunvalvonta	25
3.2	Ulkoisen laadunvalvonta	26
3.3	Laadunvalvontakokeet	27
3.3.1	Taivutuskoe.....	27
3.3.2	Delaminointikoe	30

4	KUUSISAHATAVARA	31
4.1	Puun rakenne ja ominaisuudet	31
4.2	Puun lujuusominaisuudet	34
4.2.1	Taivutuslujuus	34
4.2.2	Puun lujuusominaisuuksien ja ainetta rikkomattomien suureiden välisiä yhteyksiä ..	35
4.2.3	Muita lujuusominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä	37
4.3	Puun viat	38
4.3.1	Oksat	41
4.3.2	Reaktiopuu eli lyly eli janhus	42
4.3.3	Syyhäiriöt	43
4.3.4	Sinistäjä- ja homesienet	43
4.3.5	Lahottajasienet	44
4.3.6	Hyönteisviat	44
4.4	Sahatavaran laatuvaatimukset ja laadun varmistus liimapuun valmistuksessa	45
4.5	Sahatavaran lujuuslajittelu	46
4.5.1	Koneellinen lujuuslajittelulaitteisto Dynagrade	47
4.5.2	Visuaalinen lujuuslajittelu	48
4.6	Sahatavaran varastointi	48
5	SAHATAVARATOIMITTAJIEN LAADUN MÄÄRITYS	50
5.1	Tutkimusalueen määrittely	50
5.1.1	Tutkimusongelma	50
5.1.2	Tiedonkeruu	52
5.2	Tilastolliset menetelmät	52
5.2.1	Aritmeettinen keskiarvo	52
5.2.2	Keskiahajonta	53
5.2.3	Painotettu aritmeettinen keskiarvo	53
5.2.4	Ominaisarvojen 5 %:n kvantiili	53
5.2.5	Pearsonin korrelaatiokerroin (r) ja selitysaste (r ²)	55
5.3	Lajittelun sahakohtaisen hukkaprosentin määrittely	55
5.4	Taivutuskoetulosten tarkastelu ja analysointi murtumatyypeittäin	59
5.4.1	Kaikki taivutuskoetulokset vuosille 2013 ja 2014	61
5.4.2	Taivutuskoetulokset murtumatyyppille SP ja keskiarvon ylittävät tulokset	63

5.4.3	Taivutuskoetulokset murtumatyypille SP	64
5.4.4	Yhteenveto taivutuskoetuloksista	64
5.5	Lajittelukoneen antama sahakohtainen suhteellinen laatujauma	65
5.6	Tutkimuksessa saatujen suureiden välisten riippuvuuksien todentaminen.....	70
5.6.1	Karakteristisen taivutuslujuuden vertaaminen I-lamellien suhteelliseen osuuteen ...	70
5.6.2	Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen I-lamellien (MLT30) suhteelliseen osuuteen	71
5.6.3	Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen taivutuslujuuksien keskiarvoihin	72
6	KEHITTÄMISTYÖN TULOKSET	74
6.1	Lajittelun sahakohtainen hukkaprosentti	74
6.2	Sahakohtainen taivutuslujuus ja karakteristinen taivutuslujuus	75
6.3	I-lamellien sahakohtainen suhteellinen osuus koneellisessa lujuuslajittelussa	78
6.4	Yhteenveto kaikista tutkimustuloksista	79
6.5	Sahojen pisteytys sekä painotetun keskiarvon mukainen listaus	80
7	YHTEENVETO	84
	LÄHTEET	86

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Turussa sijaitsevalle liimapuupalkkitehtaalle, Late-Rakenteet Oy:lle. Myöhemmin tullaan käyttämään myös pelkkää Late -nimeä.

1.1 Kehittämistyön esittely ja tavoitteet

Kehittämistyö koskee ensisijaisesti Late-Rakenteet Oy:n yhtä liiketoiminnan ydinprosessia eli sahatavaran hankintaprosessia ja sen osaoptimointia järjestämällä sahatavaratoimittajat paremmuusjärjestykseen heidän toimittamansa sahatavaralaadun perusteella. Tieto mahdollistaa sahatavaraostojen keskitämisen laadultaan parhaille toimittajille. Tutkimusaineisto on sikäli salaista, että sahat on numeroitu eikä niitä mainita nimeltä.

Latella on tällä hetkellä 25 sahatavaran toimittajaa, ja 23:lla niistä on PEFC-sertifikaatti (kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä). Käytännössä noin 10 sahaa valitaan vuosittain sahatavaratoimittajiksi.

Kehittämishankkeen ensisijainen tarkoitus on analysoida Latelle saapuneen sahatavaran laatu toimittaja- eli sahakohtaisesti analysoimalla kokemusperäiseen tietoon pohjautuva numeerinen raakadata informatiiviseen muotoon. Laatua tarkastellaan kolmesta eri näkökulmasta eli lujuuslajittelusta syntyvän hukkaprocentin, taivutuskoetuloksien ja lujuuslajittelukoneen antaman laatu-jakauman perusteella. Tarvittavat tiedot kerätään jo olemassa olevista tietokannoista ja tulosten analysoinnissa hyödynnetään tilastollisia menetelmiä. Lisäksi tarkoituksena on verrata edellä mainittuja tuloksia toisiinsa ja tarkastella niiden keskinäistä riippuvuutta sekä järjestää sahatavaratoimittajat laadulliseen paremmuusjärjestykseen.

Sahatavaran laadun kokonaisvaltaisen ymmärryksen kannalta työssä käydään läpi liimapuun ja sen valmistuksen sekä sahatavaran keskeiset laatuvaatimukset ja standardit. Lisäksi tullaan esittämään kuusen laatuun ja lujuuteen vaikuttavia puun fysiologisia piirteitä.

Koko työ ja siitä saatava hyöty voidaan tiivistää neljään tutkimuskysymykseen:

1. Lujuuslajittelun sahatavarahukkaprosentin laskeminen (sahoittain).
2. Taivutuskoetulosten tarkastelu murtumatyypeittäin (sahoittain).
3. I-lamellien suhteellisen määrän selvitys kokonaistoimituksista (sahoittain).
4. Muutamien eri muuttujien vertaaminen toisiinsa ja niiden riippuvuuksien selvittäminen.

1.2 Late-Rakenteet Oy

Late-Rakenteet Oy on toiminut jo 70 vuoden ajan, ja tehdas valmistaa erikoisosaamista vaativia liimapuurakenteita ja -palkkeja muun muassa tehdas- ja jäähalleihin, siltoihin sekä maatalousrakennuksiin. Lisäksi varastosta löytyy suuri joukko erikokoisia vakiopalkkeja vaikkapa pienrakentamiseen.

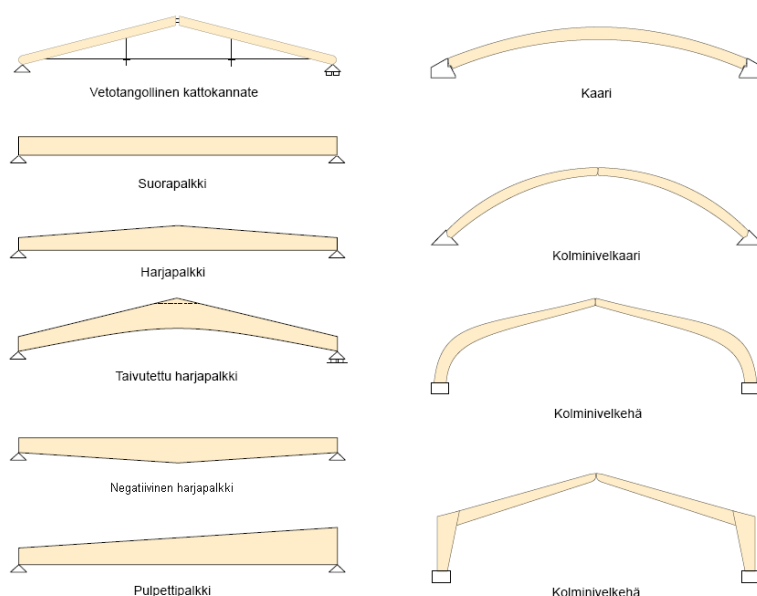
Late-Rakenteiden toiminta alkoi 1.2.1945 Oy Laivateollisuus Ab nimisenä yhtiönä. Oy Laivateollisuus Ab perustettiin valmistamaan sotakorvaukseksi määrättyjä purjein sekä moottorein varustettuja puukuunareita Neuvostoliitolle. Liimapuuta käytettiin laivojen kaarissa, kansipalkeissa ja mastoissa. Viimeinen Zarja-niminen kultakuunari luovutettiin Neuvostoliitolle 18.9.1952, ja viimeinen puinen alus luovutettiin tehtaalta 1958. Viimeisiä puisia laivoja valmistettaessa ryhdyttiin suunnittelemaan liimauskokemuksen hyödyntämistä rakennusteollisuuden tuotteiden valmistuksessa. Ensimmäiset liimapuutoimitukset rakennusalalle tapahtuivat vuonna 1956 ja näin nykyisestä Latesta tuli uranuurtaja liimapuun valmistuksessa Suomessa. (Late-Rakenteet Oy 2014.)

Erinäisten omistajanvaihdosten jälkeen tehdas kuului 1980-luvun lopussa Wärtsilä Meriteollisuuteen. Talvella 1988 tehtiin päätös laivanrakentamisen lopettamisesta Pansiossa, ja samalla liimapuutehtaalle etsittiin uutta omistajaa. Toukokuussa 1988 kolme yhtiön silloista työntekijää jättivät oman ostarjouksen liimapuutehtaasta, heistä kaksi toimii edelleen yhtiön johdossa. Joulukuun 8. päivänä allekirjoitettiin sopimus, ja 1.1.1989 Late-Rakenteet Oy aloitti toimintansa. Kaupan yhteydessä kaikki liimapuutehtaan työntekijät siirtyivät Late-Rakenteiden palvelukseen, ja toiminta jatkuu edelleen samoissa tiloissa Turun Pansiossa. (Late-Rakenteet Oy 2014.)

1.2.1 Laten tuotteet ja toimitetut ratkaisut sekä liimapuun yleiset käyttökohteet

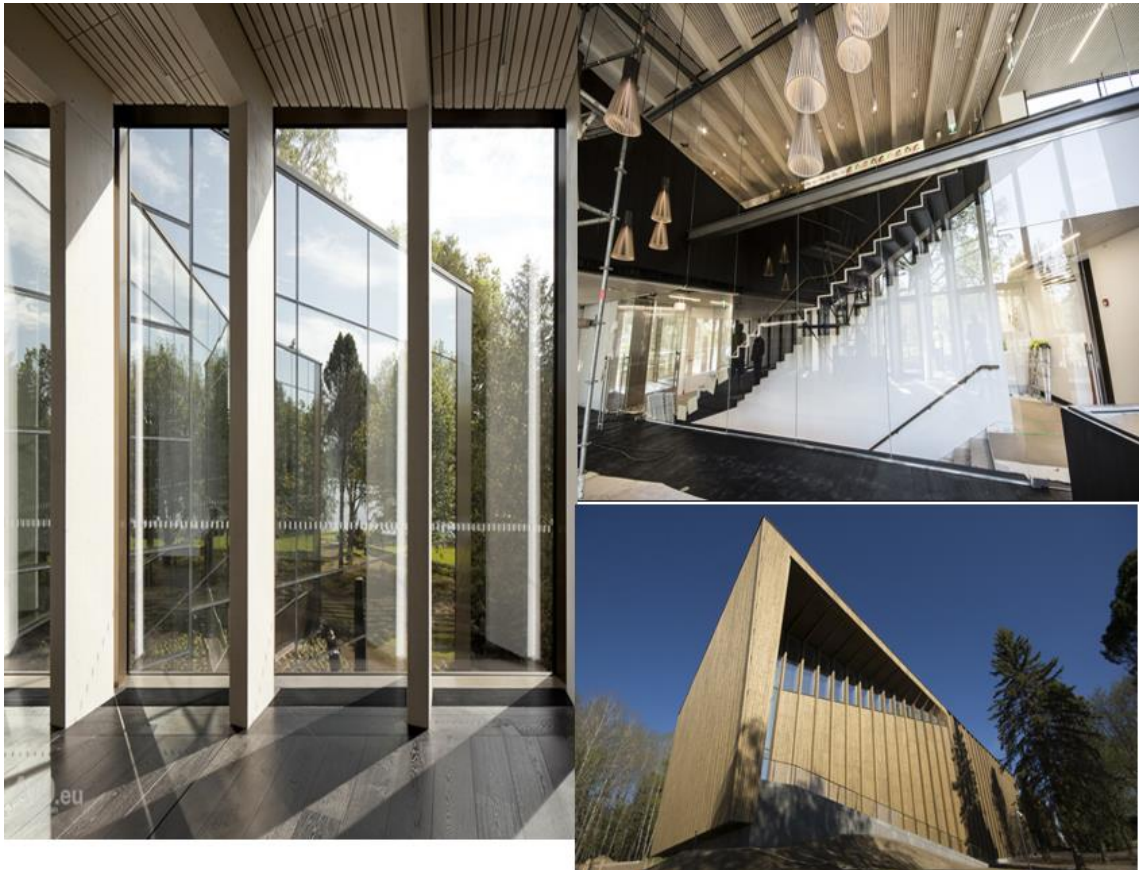
Liimapuun käyttökohteita ovat niin teollisuus- ja urheiluhallit, suurmyymälät, näyttelyhallit ja koulut, kuin myös pientalot ja maatalousrakennukset. (Puuinfo 2014c.)

Laten tuotteet voidaan jakaa niin sanottuihin objektitöihin ja vakiopalkkeihin. Objektityöt eli kohdetyöt ovat asiakkaan tarpeiden mukaan valmistettavia rakenteita. Projekti saadaan Latelle joko valmiiksi suunniteltuna tai rakenteet suunnitellaan ja valmistetaan Laten toimesta. Varastopalkit liimataan yhteinäisinä pitkinä kankina (noin 24 m) ilman esikoroituksia ja katkaistaan määrämittaan. Kuvassa 1. on esitetty yleisempiä runkorakenteita.



Kuva 1. Liimapuukannatteiden perusmuodot (Metsäwood 2014).

Laten toimittamia ratkaisuja löytyy mm. Helsingin keskustassa sijaitsevassa Kampin kappelissa ja uudessa Mänttään avatussa Gösta Serlachiuksen museossa (Göstan paviljonki), joka oli Arkkitehtuurin Finlandia-palkintoehdokkaana syksyllä 2014 järjestetyssä kilpailussa. Late toimittaa liimapuuta ja liimapuukurakenteita ympäri maailmaa, ja on näin ollen kansainvälisestikin arvostettu ja tunnettu yritys. Seuraavissa kuvissa 1–6 on esitetty muutamia Laten toimittamia liimapuukurakenteita.



Kuva 2. Gösta Serlachiuksen museo (Inlook 2015).



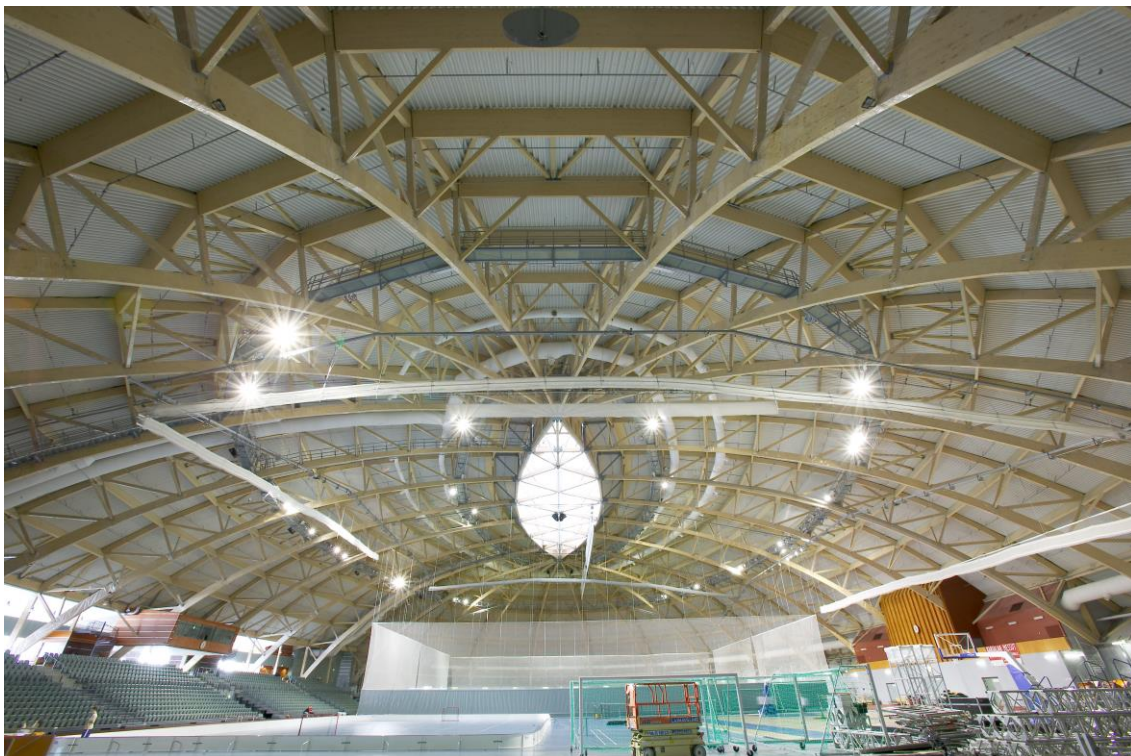
Kuva 3. Gösta Serlachiuksen museo (Arkkitehtuurin Finlandia 2015)



Kuva 4. Gösta Serlachiuksen museo (Arkkitehtuurin Finlandia 2015)



Kuva 5. Kävelysilta (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015)



Kuva 6. Joensuun urheiluhalli (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015)

1.2.2 Laten tuotannon yleiskuvaus

Seuraavassa esitetään Late-Rakenteet Oy:n tuotannon kulku aina sahatavaran saapumisesta valmiin tuotteen lähetyksen asti. Laten tuotanto on jaoteltu karkealla tasolla kolmeen osaan, jotka ovat: Lautatarha, Liimaus ja Viimeistely. Käsittelyn kaikki kohdat pintapuolisesti ja kerron mitä toimintoja ne sisältävät.

1.2.2.1 Lautatarha

Käsite lautatarha pitää sisällään sahatavaran vastaanoton, rimoituksen, kuivauksen ja lujuuslajittelun.

Sahatavaran saapuessa sille tehdään vastaanottotarkastus, jossa mitataan sahatavaran paksuus sekä leveys ja todetaan sille asetettujen toleranssien ja muiden vaatimusten mukaisuus. Mahdolliset muut viat muun muassa laho, sinistymä, vajaasärmäisyys, sydänkeskeisyys ja kolhiintumat tarkastetaan visuaalisesti. Tiedot dokumentoidaan jatkokäsittelyä varten.

Sahatavaran rimoituksessa lankut ajetaan rimoituskoneen läpi, jossa joka väliin laitetaan poikittaiset välirimat, mitkä tekevät nipusta hengittävän. Rimanipuissa sahatavaran säilyvyys paranee, ja se on välttämättömyys kuivauksen kannalta.

Sahatavara on yleensä sahatuoretta saapuessaan Latelle, joten sen kuivaaminen on välttämätön toimenpide (tavoitekosteus on 10–12 %). Sahatavara kuivataan joko jatkuvatoimisessa kanavakuivaamossa tai kerralla täytettävässä kamarikuivaamossa. Kuivaamojen lämpöenergia tuotetaan Laten omassa lämpövoimalassa, jossa poltetaan liimapuun eri valmistuksen vaiheissa syntynyt puutavarahukka.

Lujuuslajittelu tapahtuu sekä koneellisesti MLT30- ja ML20- että visuaalisesti LT30- ja LT20- lujuusluokkiin. Henkilöillä, jotka suorittavat lujuuslajittelun on oltava voimassaoleva visuaalisesta lajittelusta Inspectan kurssilla annettu INSTA 124 LT -lujuuslajittelutodistus. Lajittelusta on kyseisessä luvussa lisää tietoa.

1.2.2.2 Liimaus

Liimaus käsitteenä kattaa puutavaran sormijatkamisen sekä lamellien höyläyksen, liimoittamisen ja puristusvaiheen, jossa liimoitetut lamellit puristetaan yhteen liimapuuaihioksi.

Sormijatkamisessa puutavara jatketaan määrämittäisiksi lamelleiksi. Lamellien pituuden määrittää valmiin palkin pituus tai liimausjigin eli -puristimen suurin mahdollinen pituus. Esimerkiksi standardipalkit liimataan hydraulisessa liimaus-puristimessa noin 24 m:n pituisina ”kankina”, jotka katkaistaan vasta valmiista, valmiiksi höylätystä ja viimeistellystä liimapuusta asiakkaan haluamaan mittaan. Liimausjigien muotoa ja pituutta on kuitenkin mahdollista muuttaa, jolloin vastaan tulee noin 40 m:n maksimipituus. Sormijatkoksista tehdään päivittäin kolme taivutuskoe-kappaleita / sormijatkoslinja / työvuoro.

Jatketut lamellit höylätään lamellihöylällä, ja liimoitus tapahtuu samassa yhteydessä heti höyläyksen jälkeen sijoitetulla liimoittimella. Lamellivahvuus on yleensä suorilla palkeilla 45 mm ja taivutetuilla 33 mm, jos taivutussäde $\geq 6,6$ m.

Liimana käytetään vaaleaa säänkestävää kaksikomponenttiliimaa (eli melamiiniureaformaldehydiliimaa, MUF-liimaa).

Varsinainen liimaus tapahtuu joko jigiliimauksena tai hydraulisessa puristimessa. Jigi muodostuu lattiaan kiinnitettävistä L-kirjaimen muotoisista tolpiista, jotka järjestetään halutun palkin muodon ja pituuden mukaan (Kuva 7.). Hydraulipuristimessa (Kuva 8.) liimatut palkit ovat yleensä suoria, mutta käyttämällä hyväksi ”apukiiloja” sillä on mahdollista liimata esikoroituksellisia palkkeja. Liiman kuivumista nopeutetaan verhoamalla hydraulinen puristin pressulla ja puhaltamalla sisään lämmintä noin 60-celsiusasteista ilmaa, jolloin puristusaika lyhenee 6 h:sta noin 1,5:iin. Jigiliimauksissa liiman kovettumista voidaan säädellä kovettaja-liima-suhdetta muuttamalla, mutta käytännössä liimauksien annetaan (jigiliimaukset) kuivua seuraavaan aamuun asti.



Kuva 7. Kaarenmuotoinen liimausjigi (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015).



Kuva 8. Hydraulinen liimauspuristin (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015).

1.2.2.3 Viimeistely

Viimeistely käsittää palkkien höyläyksen, katkaisun, viimeistelyn, paketoinnin ja lastauksen.

Höyläyksessä palkkiaihioiden sivut ja useissa tapauksissa myös lappeet höylätään. Palkkien katkenta voidaan suorittaa joko ennen tai jälkeen höyläyksen. Esimerkiksi harjapalkki on katkaistava vasta höyläyksen jälkeen niin sanotulla työstöpedillä, mutta useat suorat palkit katkaistaan määrämittaan jo ennen höyläystä. Kuvassa 9 on esitetty Laten palkkihöylä.



Kuva 9. Palkkihöylä (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015).

Palkkien viimeistely sisältää kaikki ne työstöt, jotta höylätystä palkkiaihiosta saadaan työkuvan mukainen eli muun muassa: katkenta, viisteytykset, porauk-

set, loveukset, pilareiden kengityksen (pilareiden alapäähän kiinnitetään liima-ruuviliitoksella ”teräskenkä”, joka toimii vastakappaleena asennuspakan perustuksiin valettuihin peruspultteihin), pintakäsittely ja pakkaus.

Useimmat työt (osaa töistä ei pintakäsitellä ollenkaan) pintakäsitellään vesiohenteisella lakalla, mutta myös erilaiset puuta värjäävät ja kyllästävät aineet ovat yleisiä. Valmiit liimapuut pakataan suojamuoviin, joka estää likaantumisen kuljetuksessa ja asennuksessa. Suojamuovi on värillistä, mikä suojaa puuta valon aiheuttamalta kellastumiselta.

Lastaus ja kaikki muukin palkkien siirtely tapahtuu katon rajassa olevilla siltanostureilla, yleensä suoraan rekkaan tai kuljetuskontteihin.

1.2.3 Hankintatoiminta

Hankinnan toteutuminen edellyttää hintaan, laatuun ja määrään liittyviä päätöksiä. Nämä päätökset tekee ensisijaisesti yritysjohto. Päätökset ja valinnat vaikuttavat tai jopa sinetöivät hyvin pitkälle valmistettavan tuotteen lopullisen hinnan ja laadun. Joten hankinnoilla on suuri vaikutus liiketoiminnan tulokseen ja tätä kautta koko yrityksen olemassaolon kannattavuuteen. Toki yrityksen kannattavuuteen liittyy useita muitakin tekijöitä, kuten muun muassa organisaation ammattitaito ja sitä kautta aikaansaatu (korkea) jalostusarvo. (Sakki 2009, 181–182.)

1.2.3.1 Menekin ennakoiminen yleisesti

Kirjassaan Sakki (2009) antaakin menekin ennakointiin nimenomaan historia-tietoihin pohjautuvia menetelmiä, mutta myöntää sen kuitenkin pohjautuvan oletukseen, että tulevaisuudessa myynti jatkaisi samaa rataa ja sisältäen näin ollen epävarmuutta. Mutta kaiken kaikkiaan menekin ennustaminen on välttämättömyys saada alennettua varastointitarvetta jollekin ”järkevälle” tasolle, mutta pitää kuitenkin pieni puskuri suojaamassa yritystä ennustamisen virheiltä. (Sakki 2009, 135–141.)

Menekin ennakointimenetelmiä ovat muun muassa aikasarja-analyysi, keski-arvo ennustamisessa ja eksponenttitasoituksen menetelmä ennustamisessa.

Aikasarja-analyysi: Tällä tarkoitetaan määrävälein kerättyä menekkitietojen sarjaa, jota tarkastellaan graafisesti. Kuvasta selviää välittömästi täysin satunnaisen oloinen aikasarja. Onko sarjassa nousevaa tai laskevaa trendiä tai onko trendi suoraviivainen vai käyrä? Sisältääkö aineisto selkeitä kausivaihteluita, kuten esimerkiksi liimapuun valmistuksessa, jossa sesonki osuu yleensä touko-lokakuulle? (Sakki 2009, 135–136.)

Keskiarvo ennustamisessa: Jos menekkitiedot vaihtelevat täysin satunnaisesti keskiarvon molemmin puolin, on aineistosta laskettu keskiarvo paras ennuste tulevalle menekille. Tästä hiukan kehittyneempi versio on laskea niin kutsuttu liukuva keskiarvo. Liukuva keskiarvo lasketaan tietystä määrästä perättäisiä aikasarjan lukuja, jota pidetään seuraavan kauden ennusteena. Kun todellinen menekki ”uudelle” kaudelle on saatu selvitettyä, voidaan ensimmäisen aikasarjan vanhin luku korvata uuden kauden todellisella menekillä ja näin laskea uusi ennuste tulevalle kaudelle. (Sakki 2009, 137.)

Eksponenttitasoituksen menetelmä ennustamisessa: Tässä menetelmässä uudessa ennusteessa otetaan huomioon edellinen ennuste, jota korjataan α -kertoimella, mikä pitää sisällään edellisen kauden kulutuksen vähennettynä kyseiselle kaudelle edellisellä kerralla tehty ennuste. (Sakki 2009, 137–138.)

Uusi ennuste = edellinen ennuste + α (edellisen kauden kulutus – (miinus) samalle kaudelle edellisellä kaudella tehty ennuste). (Sakki 2009, 137–138.)

Menekinarviointiin käytettävät työkalut soveltuvat niin lähimpänä asiakasta olevaan toimintaan kuin toimitusketjun alkupäässäkin oleville toimijoille. Lisäksi tärkeää on myös koko ketjun keskinäinen kommunikaatio, jolla voidaan tarkentaa tilastollisesti huomaamatta jääneitä ennusmerkkejä. (Sakki 2009, 135–141.)

1.2.3.2 Sahatavaramenekin ennakoiminen ja ostosignaalit

Syöte (ostotarve) ostoprosessin käynnistämiseksi saadaan joko seuraamalla sahatavaravarastoa (varastokirjanpito) tai tilauskantaa (asiakas tekee tilauksen) tai molempia edellä mainittuja. Tämä seuranta kuuluu oston tehtäviin.

Sahatavaravarastolle on määritelty dimensioittain (ei kaikille dimensioille) hälytysrajat, jotka ovat määritelty edellisien vuosien menekin perusteella.

Ostoprosessi on myyntiprosessin jatkumo (varsinkin niin sanotut suuret työt eli työt, jotka vaativat paljon raaka-ainetta), mutta nopeilla tilausajoilla ja pienillä töillä on myyjän varmistettava varastokirjanpidosta ja tuotannolta raaka-aineen saatavuus tietylle palkkikoolle. Taloushallinto seuraa varastokirjanpitoa määritelläkseen varastolle rahamääräisen arvon ja lisäksi varasto inventoidaan kaksi kertaa vuodessa, tällä todennetaan varaston todellinen määrä.

1.2.3.3 Sahatavaran hankintaprosessin kuvaus ja prosessikaavio

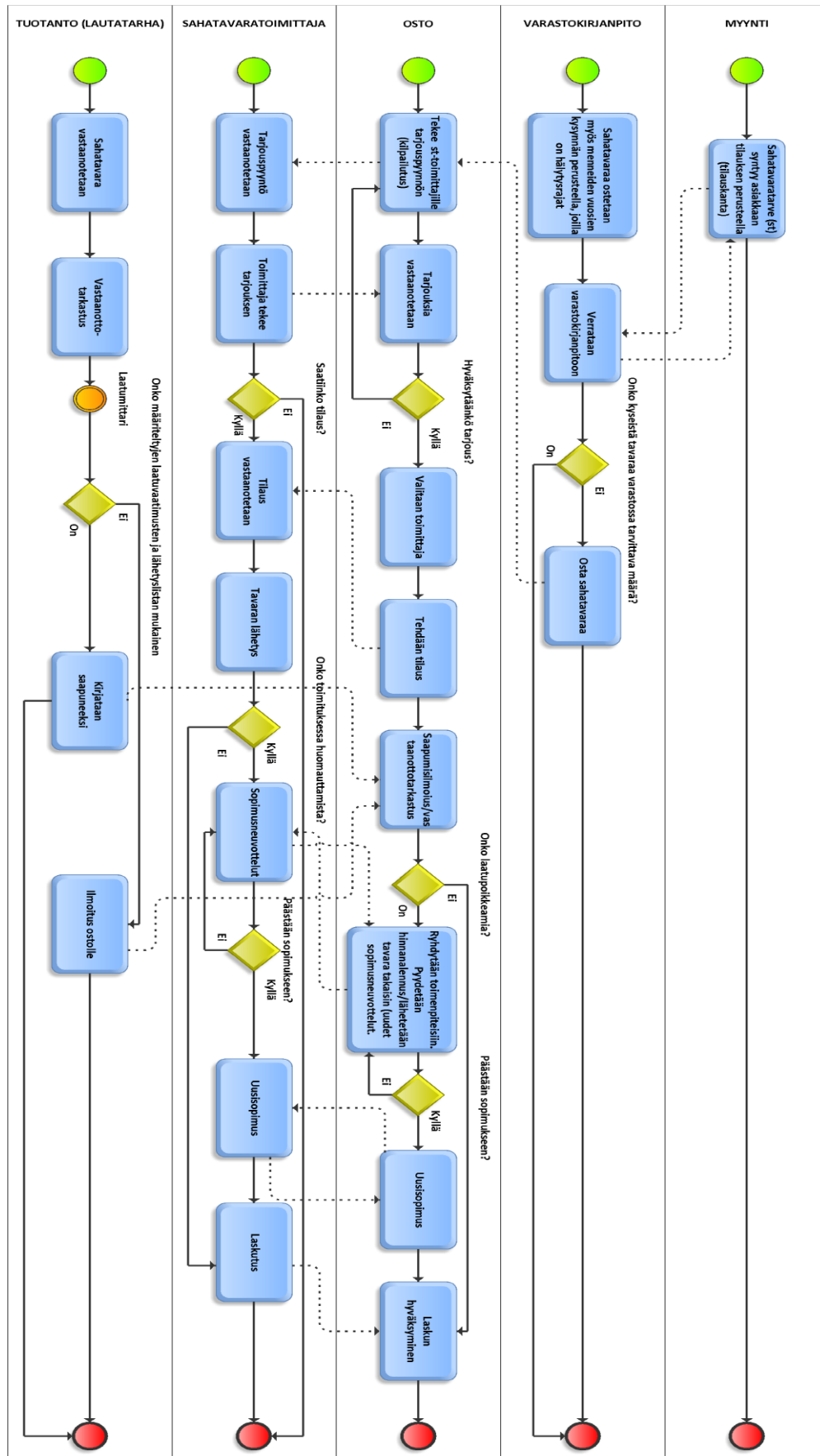
Sahatavaran tilaus-toimitus -prosessia voidaankin pitää yhtenä Laten ydinprosesseista, jossa luodaan edellytykset korkealuokkaisen tuotteen valmistamiselle ja asiakkaalle luvatussa aikataulussa pysymiselle. Eli voidaan sanoa, että kyseinen prosessi luo asiakkaalle lisäarvoa ja leikkaa läpi organisaatorajojen, joten tiivistä yhteistyötä tehdään niin oston, myynnin, sahatavaratoimittajan, tuotannon kuin laadun valvonnan kanssa.

Lisäksi kysymyksessä on kilpailukykyä edistävä toiminto. Raaka-aineen osuus on jopa 40–75 % valmiin tuotteen hinnasta, joten ”parhaan” sahatavaratoimittajan kanssa solmittu kumppanuus edistää sekä sahatavaran käsittelystä johtuvaa kulujen nousua sekä lopullisen tuotteen raaka-aineen hinnan osuuden minimointia. Esimerkiksi sahatavan lajittelussa syntyvä hukkaprosentti (tähän voi vaikuttaa useampikin tekijä) on toisilla sahoilla selvästi pienempi kuin toisilla.

Myyntitapahtuma kirjataan **tilauskantaan**, joka antaa syötteen ostolle. Tilauskantaa verrataan **varastokirjanpitoon**. Tarvittaessa osto tekee kirjallisen **tarjouspyynnön** sahatavaratoimittajille, jotka lähettävät **tarjouksen** kirjallisena. Valitulle toimittajalle tehdään tilaus ja saadaan **tilausvahvistus**, joka dokumentoidaan laskuntarkastusta varten. Saapuneelle sahatavaralle tehdään vastaanottotarkastus, joka kirjataan **vastaanottotarkastuspöytäkirjaan**. Tarvittaessa **reklamoidaan**. Hyväksytty sahatavara viedään **varastokirjanpitoon**. Saapunutta **laskua** verrataan tarjoukseen, ja jos se on oikein, lasku maksetaan. Tuotanto vie toteutuneen raaka-ainemenekin vähennyksinä varastokirjanpitoon. Tässä vähennyksessä on mukana myös laskennallinen hukkakero, joka

koostuu muun muassa lajittelussa ja sormijatkamisessa syntyneisiin työstöjen hukkaan.

Kaaviossa 1 esitetään sahatavaran hankintaprosessi niin sanotun uimarata-kaavion muodossa.



Kaavio 1. Sahatavaran hankintaprosessikaavio

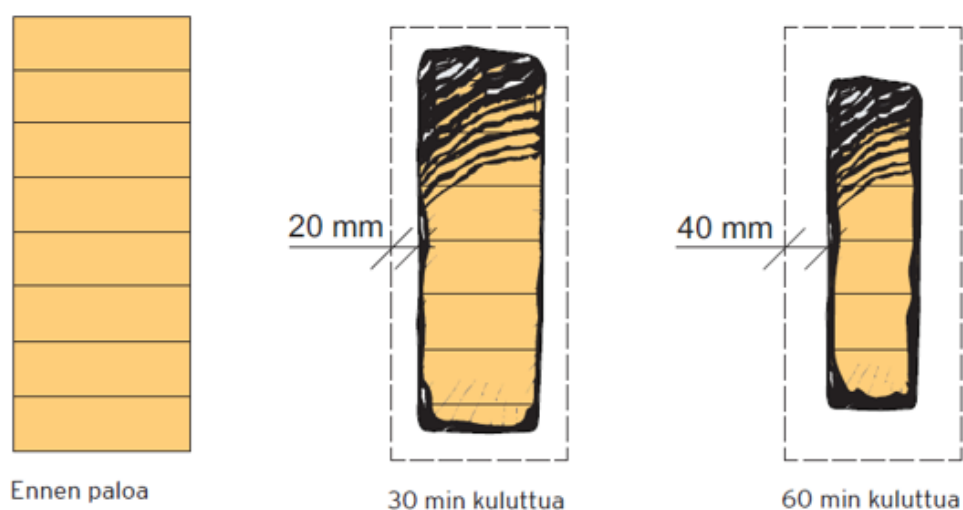
2 LIIMAPUU

Yli sadan vuoden käyttökokemus on osoittanut liimapuun pysyvän kestävyys- ja kauneuden. Arkkitehdit käyttävätkin mielellään liimapuuta, koska se on tilan tunnelmaa luova tuote. Puu on ympäristöystävällinen, energiatehokas ja ennen kaikkea uusiutuva rakennusaine. Painoonsa suhteutettuna liimapuu on yksi vahvimpia rakennusaineita ja sen vuoksi liimapuusta voidaan tehdä rakenteita, joilla on pitkät jännevälit, jopa 60 m ja ristikkorakenteilla jopa 80 m. Korroosioalttiissa ympäristössä liimapuu toimii paremmin kuin monet muut materiaalit. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 7.) Lisäksi liimapuupalkki on tulipalon sattuessa esimerkiksi terästä turvallisempi vaihtoehto. Liimapuusta valmistettu rakenne hiiltyy hitaasti (kuvassa 11 on esitetty liimapuun hiiltymisnopeus palon edessä) eikä laajene lämmön vaikutuksesta aiheuttaen rakenteiden romah- tamista. (Fagerstedt ym. 1996, 7.)

Kuvassa 10 havainnollistetaan kuinka liimapuu säilyttää kestävyytensä tulipalossa, toisin kuin suojaamaton teräs.



Kuva 10. Suojaamattoman teräksen ja liimapuun käyttäytyminen tulipalossa (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 71).



Kuva 11. Havainnollistaa liimapuun poikkileikkausta ennen paloa (vasemmalla), 30 minuutin kuluttua ja 60 minuutin kuluttua palon alkamisesta, kun palorasitus kohdistuu poikkileikkaukseen kaikilta neljältä sivulta (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 70).

2.1 Liimapuun määritelmä, lujuusluokat ja ominaisuudet

Liimapuukannatteella tarkoitetaan tässä yhteydessä kantaviin rakenteisiin tarkoitettua horisontaalista liimapuuta, joka on standardin SFS-EN 14080 mukaista, ja joka koostuu vähintään neljästä enintään 45 mm paksusta sahatavaramellista, joiden syysuunta on liimapuutuotteen pituussuuntaan ja se on valmistettu standardin SFS-EN 386 mukaan. Taivutetuilla lamellivahvuus on 33mm, jos kaarevuussäde on 6,6 m tai sen yli (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 32). Edellä mainittujen standardien noudattaminen ja ulkopuolisen valvojan hyväksyntä (Latella se on VTT) antaa edellytykset EU:n rakennustuotedirektiivin mukaiseen tuotteen CE-merkintään. Rakennustuotteiden CE-merkintä tulikin pakolliseksi vuoden 2013 heinäkuussa. (Puuinfo 2014a.)

Liimapuuksi määritellään standardin FprEN 14080 mukaan myös kaksi lamellinen palkki, lamellivahvuuden ollessa 45 mm (Liimapuu.fi 2012a).

Pohjoismaissa käytetään tavallisesti liimapuuta jonka lujuusluokkaa on GL30c tai GL30h. Kaksi- ja kolmilamellisten palkkien luokka on GL30h. Halkaistut palkit

valmistetaan luokan GL30c tai GL30h palkeista. Kun lujuusluokan GL30c liimapuu halkaistaan kahteen osaan, saadaan lujuusluokan GL30cs palkki, joka täyttää GL24c luokan vaatimukset. Kun taas GL30h halkaistaan kahteen osaan, saadaan lujuusluokan GL30hs palkki, joka täyttää GL28h luokan vaatimukset. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 17.)

Lujuusluokan tunnuksissa olevat kirjaimet c ja h, tulevat sanoista: c on combined eli liimapuu, jonka valmistuksessa on käytetty kahdenlaisia lamelleja ja ne sijoitetaan palkin ulkoreunoille kuvan 12 mukaisesti ja h on homogeneous eli tasa-aineinen liimapuu, joka on valmistettu ainoastaan MLT30- (T22) lujuusluokan lamelleista. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 22.)



Kuva 12. GL30c eli yhdistetyn liimapuun ulko- ja sisälamellien suhde (T22 = MLT30 ja T15 = MLT20). (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 23.)

Standardin EN 14080 mukaan liimapuun lujuusominaisuudet voidaan määrittää kolmella eri tavalla:

- Testaamalla liimapuuta.
- Laskemalla tai luokittamalla standardin EN 1194 mukaan. Laskenta- ja luokitusmenetelmä edellyttää, että liimapuulamellien ominaisvetolujuus ja ominaistiheys sekä keskimääräinen kimmokerroin on dokumentoitu. Nämä ominaisuudet voidaan:
 - o joko ottaa suoraan standardista EN 338 tai
 - o määrittää kokeellisesti soveltamalla standardeja EN 408, EN 384 ja EN 1194. (Liimapuu.fi 2012a.)

Taulukossa 1 on esitetty sekä yhdistetylle (GL30h) että homogeeniselle (GL30h) liimapuulle lujuus-, jäykkyys- ja tiheysominaisuudet. Niiden poikkileikkauksrakenteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Liimapuu valmistetaan symmetrisesti vaakasuorassa olevista lamelleista.
- Lamellien paksuus on enintään 45 mm ja määrä vähintään neljä.
- GL30c ulkolamellien luokka on vähintään MLT30 (T22) ja sisälamellien luokka on vähintään MLT20 (T15).
 - o Ulkolamellien pinta-ala on vähintään 1/3 koko poikkileikkauksen pinta-alasta.
- GL30h kaikkien lamellien luokka on vähintään MLT30 (T22).
- MLT30- lamellien sormijatkoksien taivutuslujuuden ominaisarvon on oltava vähintään 38,8 N/mm² ja T22 lamellien 40 N/mm². Pohjoismaisesta LT-lajittelusta on siirryttävä EN 14081 mukaiseen T-lajitteluun viimeistään elokuussa 2015. (Liimapuu.fi 2012a.)

Taulukko 1. Lujuusluokan GL30 ja kahteen osaan halkaistun GL30s liimapuun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet (N/mm²) sekä tiheysominaisuudet (kg/m³) (Liimapuu.fi 2012b).

Ominaisuus	Symboli	GL30c	GL30h
taivutuslujuus	$f_{m,k}$	30	30
Vetolujuus	$f_{t,0,k}$	20	24
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5
Puristuslujuus	$f_{c,0,k}$	25	30
	$f_{c,90,k}$	3,0	3,0
Leikkauslujuus	$f_{v,k}$	3,5	3,5
	$f_{r,k}$	1,2	1,2
Kimmomoduli	$E_{0,mean}$	13 000	13 600
	$E_{0,05}$	10 800	11 300
	$E_{90,mean}$	300	300
	$E_{90,05}$	250	250
Liukumoduli	G_{mean}	650	650
	G_{05}	540	540
	$G_{r,mean}$	65	65
	$G_{r,05}$	54	54
Tiheys	ρ_k	390	430
	ρ_{mean}	430	480

Ominaisuus	Symboli	GL30cs	GL30hs
taivutuslujuus	$f_{m,k}$	28	28
Vetolujuus	$f_{t,0,k}$	18,7	22,4
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5
Puristuslujuus	$f_{c,0,k}$	23,3	28
	$f_{c,90,k}$	3,0	3,0
Leikkauslujuus	$f_{v,k}$	3,5	3,5
	$f_{r,k}$	1,2	1,2
Kimmomoduli	$E_{0,mean}$	12 500	13 100
	$E_{0,05}$	10 300	10 800
	$E_{90,mean}$	300	300
	$E_{90,05}$	250	250
Liukumoduli	G_{mean}	650	650
	G_{05}	540	540
	$G_{r,mean}$	65	65
	$G_{r,05}$	54	54
Tiheys	ρ_k	390	430
	ρ_{mean}	430	480

2.2 Liimapuun vaatimukset

Kantavien liimapuukurakenteiden valmistus on ympäristöministeriön hyväksymän laadunvalvonnan alaista toimintaa. Euroopan ulkopuolella, esimerkiksi Japanissa on omat sääntönsä ja valvojansa (JAS), joilla valvonta täytyy edelleen hyväksyttävä. (Tekninen johtaja, Late-Rakenteet Oy, A. Järvenpää 2014.)

Liimapuun valmistus vaatii erityistä tarkkuutta, jotta laatu pysyisi tasaisena ja korkeana. Valmistajalla tulee olla dokumentoitu laadunvarmistusjärjestelmä, joka täytyy olla erityisen sertifiointilaitoksen hyväksymä ja sisäinen laadunvalvonnan valvojana on oltava ulkopuolinen riippumaton tarkastaja, Latella se on VTT Expert Services Oy. (Carling, O. 2003, 15.)

2.3 Liimapuun historiikki

Liimapuutekniikan kehitys aloitettiin Saksassa 1800-luvun lopulla ja Skandinaviaan tekniikka saatiin 1900-luvun alussa. Suomessa ensimmäiset liimapuukurakenteet valmistettiin Turussa Oy Laivateollisuus Ab:ssa 1940-luvulla (nykyinen Late). Ne olivat sotakorvauksina Neuvostoliitolle valmistettavien puulaivojen runkorakenteita, kansipalkkeja ja mastoja. 1950-luvun puolivälistä lähtien liimapuuta on käytetty rakenteissa kantavina runkorakenteina, kun laivojen rungon kaaria alettiin kääntämään ylösalaisin. Liimapuun tuotanto oli kuitenkin melko vaatimatonta 1960-luvun alkuun asti, mutta on sen jälkeen kasvanut voimakkaasti. Suomessa tuotetaan nykyään liimapuuta noin 300 000 m³ vuodessa, josta käytetään noin 50 000 m³ kotimaassa (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 13). (Carling, O. 2003, 9.)

Varsinainen liimapuun läpimurto oli niin sanottu Brysselin maailmannäyttelyn Reichseisenbahnhalle (rautatiehalli) vuonna 1910. Siinä vetotangollisten liimapuukurakenteiden jänneväli oli peräti 43 m, poikkileikkauksen korkeus lähes kolme metriä ja leveys 30 cm. Liimapuun kehittyminen antoi ainutlaatuiset mahdollisuudet rakenteiden arkkitehtuurin perusteelliselle uudistumiselle. Liimapuun valmistamista lamelleja yhteen liimaamalla perusteltiin sillä, että menetelmällä voidaan valmistaa erilaisia muotoja ja poikkileikkauksia sekä keksinnöllä saatiin puun vikojen vaikutusta tasattua. Nykypäivänä tuntemallemme liimapuulle pohjan on rakentanut Saksalainen Otto Hetzer (1864–1911), joka oli paitsi

taitava puuseppä myös etevä rakennesuunnittelija. Hetzer kehitti uusia puurakenteita sekä haki patenteja monenlaisille yhdistetyille palkeille ja sai vuonna 1906 patentin keksinnölleen – laudoista liimatulle kaarevalle rakenteelle. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 8.)

2.4 Liimapuun ja puun tulevaisuuden näkymät sekä ympäristövaikutukset

Liimapuu on luonnon materiaali, jonka matka raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi sekä uusiotuotteiksi (voidaan käyttää uudelleen liimapuuna tai muiden tuotteiden raaka-aineena) ja lopulta luonnonvaroja kuluttamattomaksi energiaksi ei rasita ympäristöä epäedullisesti. Liimapuu valmistetaan hyvin valvotussa energiataloudellisessa teollisessa prosessissa puulamelleja yhteen liimaamalla määrämuotoisiksi kappaleiksi. Liimapuun pääasiallinen raaka-aine on pohjoismaista havupuuta (pääasiassa kuusta, mutta myös mäntyä ja lehtikuusta). Liimapuusta ei synny merkittävästi jätettä työmaalla, sillä se on usein asiakkaalle räätälöity ja itse valmistusprosessissa syntyvä jäte (sahanpuru ja lastut) hyödynnetään sahatavaran kuivauksessa ja muussa lämmön tuotannossa. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 15.)

Suomessa metsät kasvavat vuodessa yli 100 milj. m³ puuta, josta hyödynnetään noin 55 %. Puun vuotuista käyttöä voitaisiin lisätä vielä noin 20 milj. m³ muun muassa bioenergianlähteenä, rakentamisessa ja puutuoteteollisuudessa. Suomessa suurimmat kasvumahdollisuudet puurakentamisessa ovat kerrostalorakentamisessa, julkisessa rakentamisessa ja hallimaisissa rakennuksissa sekä lähiötalojen julkisivujen energiakorjauksissa. (Puuinfo 2014a.)

Suomessa puurakentamista on kehitetty yhteistyössä 1990-luvun alusta lähtien muiden EU-maiden kanssa. Kehitystyössä on keskitytty erityisesti puukerrostalojen rakentamiseen ja rakennusten energiatehokkuuteen. Suomen palomääräyksiä on muutettu ainakin kahteen otteeseen, ja tällä hetkellä puun käyttö onkin mahdollista Suomessa 5–8-kerroksisten asuin- ja työpaikkarakennuksien rungoissa ja julkisivuissa. (Puuinfo 2014a.)

Norjan Bergeniin on valmistumassa syksyllä 2015 maailman korkein puukerrostalo. Talo on 14-kerroksinen ja korkeutta sillä on 51 metriä. Talon runko

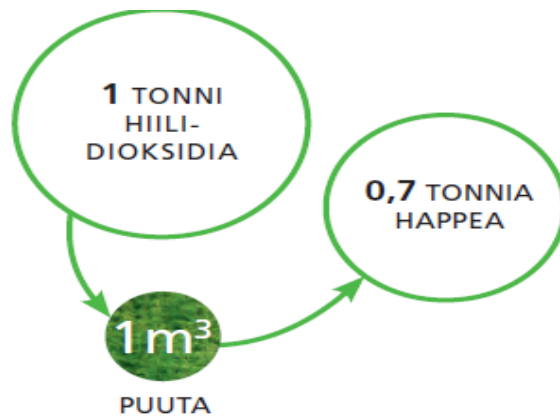
valmistetaan liimapuusta ja muut rakenteet kootaan Virossa esivalmistetuista tilaelementeistä. (Tekniikka ja Talous 2014.)

Tämän lisäksi yhdysvaltalainen pilvenpiirtäjien suunnitteluun erikoistuneen Skidmore Owings & Merrill -arkkitehtitoimiston tekemän tutkimuksen mukaan puusta voidaan rakentaa yhtä kestävästi kuin kuitubetonista (kuitubetoni sisältää teräksisiä ja muovisia mikro- ja makrokuituja, ei tarvitse erikseen raudoittaa). Tutkimuksen mukaan ainakin teoriassa voidaan rakentaa 42-kerroksisia puurunkoisia taloja. (SOM 2014.)

Muutostrendeistä yleisellä tasolla ehkä suurimman huomion on saanut ilmasto, ja varsinkin sen lämpenemiseen vaikuttavat tekijät. Hiilipäästöjä on supistettava ja energian tuotannon rakenteita on muutettava uusiutuviin keskittyviksi. Keskustelua käydään vaihtoehtoisista energian tuottamistavoista ja uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vähentämisestä. Puutuotteet ja puusta saatava energia voisikin osaltaan auttaa pienentämään hiilipäästöjä ja näin ollen hillitsemään ilmaston lämpenemistä.

Puurakenteet ja muut puusta valmistetut tuotteet varastoivat puuhun kasvun aikana sitoutuneen hiilidioksidin kunnes rakennus (tai muut tuotteet) poistetaan käytöstä ja puuosat hyödynnetään energian tuotannossa polttamalla. Eli puun polttaminen vapauttaa hiilidioksidin ilmaa, joka kuitenkin sitoutuu uudelleen kasvavaan metsään, tästä syystä puu on uusiutuva luonnonvara ja hiilineutraali energianlähde. Yksi kuutiometri puuta sitoo kasvaessaan ilmakehästä yhden tonnin hiilidioksidia (liimapuulla vastaava luku on 700 kg per kuutiometri (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 15).) ja samalla fotosynteesissä vapautuu 0,7 tonnia happea takaisin ilmakehään.

Tämä ilmenee kaavasta: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. (Puuinfo 2014, 5.)

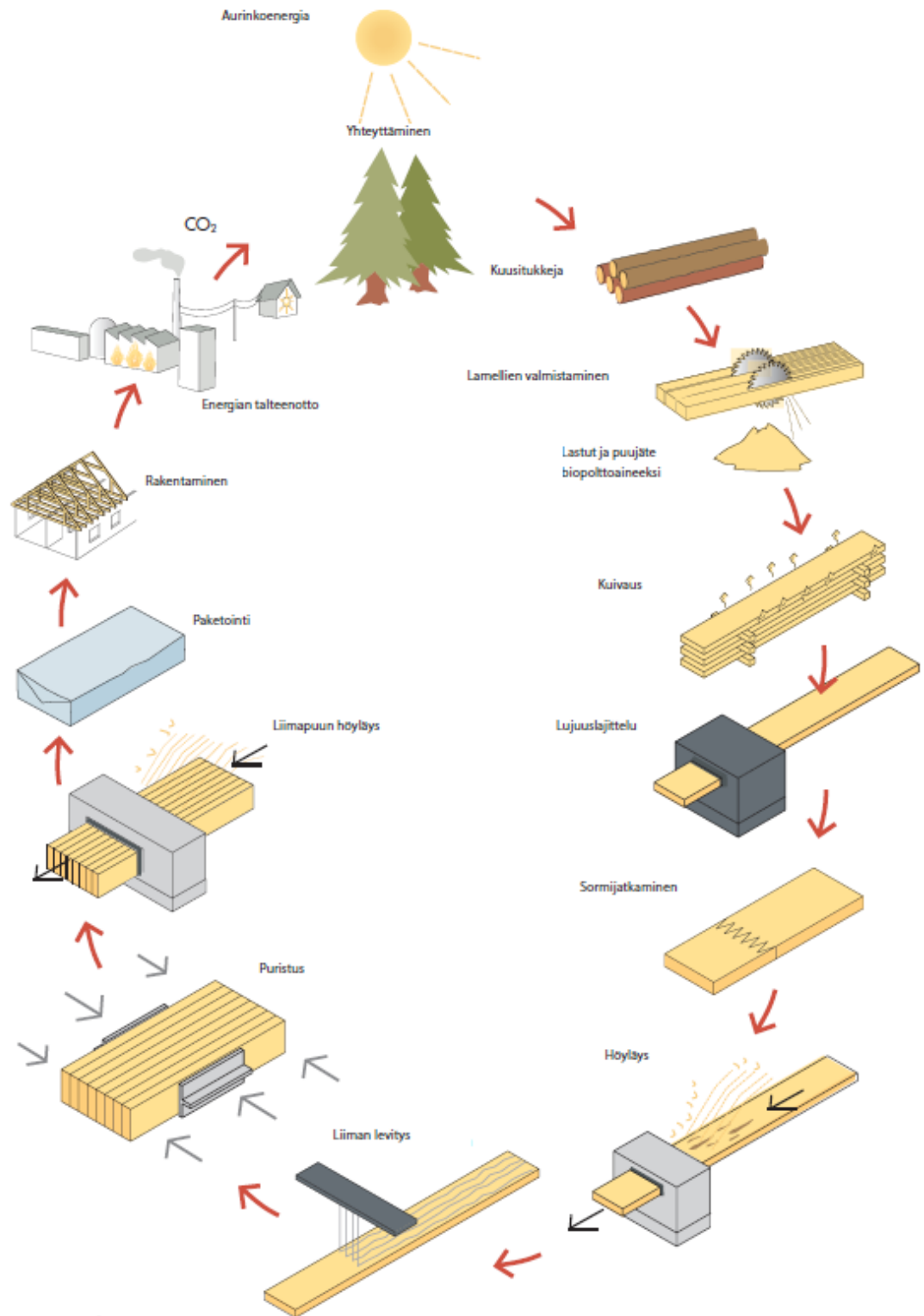


Kuva 13. Hiilidioksidin sitoutuminen puuhun vapauttaen samalla happea (Puuinfo 2014, 5).

Betoni on hallinnut kerrostalojen markkinoita viimeiset viitisenkymmentä vuotta, mutta Kauppalehti Option (14 / 2014) mukaan vuosi 2014 jää muistiin ajanjaksona, jolloin puukerrostalojen teollinen tuotanto lähti viimein liikkeelle. Artikkelissa kerrotaan, että nyt on rakenteilla tai suunnitteilla melkein 40 puukerrostaloa eri puolilla Suomea. Tämä tarkoittaa, että puisien kerrostaloasuntojen määrä nousee 700:aan tänä vuonna (2014) ja kaksinkertaistunee 1400:aan ensi vuonna (2015). Ilmiötä selitetään ihmisten kyllästyneisyydellä rakentamisen huonoon laatuun: kun puurakenteiset elementit valmistetaan kuivassa ja lämpimässä tilassa millintarkasti, kosteusvaurioiden ja muiden rakennusvirheiden riski pienenee oleellisesti. Puurakentamisella on kuitenkin edelleen muutamia, lähinnä palomääräyksistä johtuvia rasitteita. Kaikkien asuntojen kattoihin on asennettava sprinkler-veisisammutusjärjestelmä ja paljasta puupintaa ei saa jäädä sisätiloissa näkyville. Tämä luonnollisesti nostaa asunnon neliöhintaa verrattuna vastaavaan betoniseen rakennukseen. (KL Optio 14 / 2014, 45 – 50)

2.5 Liimapuun valmistus

Liimapuun valmistusperiaate käy ilmi luvussa 1.2.2 Laten tuotannon yleiskuvaus, joten tässä on tyydytty esittämään valmistusprosessi kuvan muodossa. Kuva 14 kertoo periaatteellisella tasolla selkeästi puun koko matkan metsästä sahatavaraksi, ja siitä liimapuuksi aina tuotteen hävittämiseen asti (siis jos sitä ylipäättään tarvitsee tehdä).



Kuva 14. Liimapuun valmistusperiaate (Limapuukäsikirja 2014, 16).

2.6 Pääraaka-aineet sekä niiden vuorovaikutus

Liimapuun pääraaka-aine on havupuusahatavara. Pääsääntöisesti käytetään kuusta, mutta myös lehtikuusi ja painekyllästetty mänty ovat yleisiä. Toinen välttämätön raaka-aine on liima, jolla yksittäiset lamellit liimataan yhdeksi kokonaisuudeksi – liimapuuksi. Liimana käytetään vaaleaa säänkestävää kaksikomponenttiliimaa, melamiini-urea-formaldehydiliimaa eli niin sanottua MUF-liimaa (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 19). Samaa liimaa käytetään myös sormijatkosten liimaamiseen.

Puuaineksen ja liiman kiinnipitovoima muodostuu kahdesta tekijästä. Ensimmäinen on liiman mekaaninen kiinnittyminen puupinnan halkeamiin ja avoimiin tiloihin. Toisena tekijänä ovat puun ainesosien, erityisesti selluloosan, hemiselluloosan sekä ligniinin ja liima-aineen välillä vaikuttavat molekyylien polaarisuudesta johtuvat sekundääriset voimat. Selluloosamolekyylissä on polaarisia kohtia, jotka käyttäytyvät pienten magneettien tavoin. Lisäksi liima-aineiden ja puun ainesosien välillä saattaa esiintyä kemiallisia sidoksia. (Isomäki ym. 2005, 112.)

Puupinnan karkeudella ja muodolla on suuri vaikutus liimauksen onnistumiseen. Pinnan karkeuteen vaikuttaa muun muassa puun anatominen rakenne, työstön aiheuttama karheus ja koko kappaleen muotovirhe. Puun anatominen rakenne ja siitä aiheutunut karheus koostuu muun muassa kevät- ja kesäpuun sekä pinta- ja sydänpuun aiheuttamista tekijöistä. Liimausta vaikeuttavat lisäksi puun kasvusta aiheutuneet säännöttömyydet, kuten muun muassa oksat, syyhäiriöt sekä reaktiopuu eli lyly. Työstön karheuteen vaikuttaa muun muassa väärä terien leikkuu nopeus tai terien tylsyys. Kestävä liimasauma edellyttääkin, että liiman on levittädyttävä tasaisesti koko kappaleen pinnalle ja imeydyttävä riittävästi puuhun, jolloin kovettuessaan liimasauman kiinnittyminen eli adheesio on riittävän hyvä. (Isomäki ym. 2005, 113–114.)

Kestävän liimasauman edellytyksenä on, että kovettumisvaiheessa kappaleiden pinnat ovat riittävän lähellä toisiaan. Tämä on mahdollista vain, jos kappaleet puristuvat toisiaan vasten. Oikea puristuspaine onkin yksi merkittävä tekijä liimauksen onnistumisen kannalta – levitysmäärän, lämpötilan, avoimen ja

suljetun ajan sekä ilman suhteellisen kosteuden lisäksi. (Isomäki ym. 2005, 119.)

3 LIIMAPUUN LAADUN VARMISTUS

3.1 Sisäinen laadunvalvonta

Sisäinen laadunvalvonta tarkoittaa kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla varmistetaan tuotteen vaatimusten mukaisuus tuotannon eri vaiheissa (Varonen 2011, 13). Jotta laatu pysyisi korkeana, on valmistajalla oltava dokumentoitu laadunvarmistusjärjestelmä ja jatkuva sisäinen laadunvalvonta. Järjestelmä sisältää muun muassa säännöllisiä näytteenottoja liimasaumojen lujuuden ja pysyvyyden varmistamiseksi (delaminointi- ja sormijatkostaivutuskoe). (Liimapuu-käsikirja 2003, 15.)

Seuraavassa esitetään laatumerkityille tuotteille tehtävät tärkeimmät laadunvarmistukselliset toimenpiteet ja näytteenotot:

- Saapuva sahatavara tarkastetaan vastaanottovaiheessa ja rimoitetaan mahdollisimman pian sinistymisen estämiseksi.
- Sahatavara lajitellaan koneellisesti ja koulutetut lajittelijat (INSTA 142 LT-lujuuslajitteluoikeus) seuraavat lajittelua visuaalisesti. Lajittelussa otetaan kosteuskoe pala ja dimensioita sekä kosteutta seurataan mittauksin. Dynagrade -lajittelukone kalibroidaan päivittäin.
- Sormijatkoksista otetaan taivutuskoekappaleita ja puutavaran kosteutta seurataan mittauksin. Liiman ja kovettajan määriä valvotaan sekä online -mittauksin että visuaalisesti ja kontrolloidaan punnitsemalla. Sisä- ja ulkolamellien oikea määrä varmistetaan luotettavalla järjestelmällä.
- Lamellien liimauksessa lamellihöylän teriä ja höyläysjälkeä seurataan jatkuvasti. Lamellien paksuutta valvotaan mittauksin. Liimojen ja kovetteiden levitysmäärien seuranta tapahtuu automaattisilla online -mittareilla, kontrolli tapahtuu punnitsemalla. Liimasaumojen lujuus

varmistetaan delaminointikokeilla. Jokaisesta liimauksesta tehdään liimauspöytäkirja, jolla varmistetaan oikeat liimaus- ja kovettumisajat.

- Palkkien höyläyksessä työn laatua seurataan sekä visuaalisesti että mittauksin.
- Viimeistelyssä sarjojen malleista tai yksittäisistä liimapuista laaditaan mittauspöytäkirja, jolla varmistetaan tuotteen mittojenmukaisuus. Jokainen palkki tarkastetaan visuaalisesti ennen pakkausta. Rakenteissa käytettävien liimaruuviliitosten lujuus varmistetaan vetokokeilla joka työn yhteydessä.
- Tuotantotilojen ilmankosteutta ja lämpötilaa kontrolloidaan.

3.2 Ulkoinen laadunvalvonta

Liimapuiset rakennusosat valmistetaan teollisesti, ja niiden valmistusta valvotaan riippumattomien tahojen toimesta. Sormijatkostekniikalla pystytään valmistamaan hyvin pitkiä liimapuuosia ja valmiin osan kokoa rajoittaa pääasiassa valmistajan tilat ja laitteet sekä kuljetus mahdollisuudet. Liimapuun valmistuksen periaate on yksinkertainen. Puulamelleja pinotaan ja liimataan toisiaan vasten erikokoisiksi rakennusosiksi. Kuitenkin on huomioitavaa, että liimapuun valmistuksessa vaaditaan suurta huolellisuutta ja tarkkuutta muun muassa sormijatkosten jyrsimisessä, liiman sekoituksessa ja levityksessä sekä puristuspaineen ja -ajan valinnassa ja ylläpitämisessä. Prosessia valvotaan jatkuvasti tuotannon sisäisessä laadunvalvonnassa, jotta liimapuisten rakennusosien laatu pysyy tasaisena ja hyvänä. Lujuuden ja kestävyys todentamiseksi otetaan säännöllisesti koekappaleita. Ilmoitettu laitos seuraa tuotannon sisäistä laadunvalvontaa ja tekee tarkastuskäyntejä valmistuspaikoissa. Liimapuun valmistajat ovat valvontaelimen jatkuvassa seurannassa. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 17.)

Näissä ulkoisissa laadunvalvontatarkastuksissa arvioidaan tehtaan sisäisen laadunvalvonnan ohjeiden noudattamista ja soveltamista. Tarkastajalle on järjestettävä mahdollisuus tarkastuksen suorittamiseen sekä sallia pääsy tuotanto- ja varastotiloihin. Tarkastuspöytäkirjaan kirjataan havaitut poikkeamat

sovellettavasta ohjeesta, ja ne luokitellaan joko lieviksi tai vakaviksi. Lievät poikkeamat tarkistetaan yleensä vasta seuraavan tarkastuskäynnin yhteydessä. Vakavien poikkeamien korjaamiseen annetaan aina määräaika, jonka kuluessa poikkeama on korjattava. Lisäksi tarkastuksen yhteydessä voidaan ottaa näytteitä testattaviksi tai testauksia voidaan suorittaa tehtaan omassa laboratorioissa tarkastajan valvonnassa. Edellä mainittujen ohjeiden noudattaminen ja tarkastajan hyväksyntä antavat oikeuden laatumerkin käyttöön. (Varonen 2011, 15–16.)

3.3 Laadunvalvontakokeet

Laadunvalvontakokeiden tulokset dokumentoidaan, jolloin ne toimivat sisäisen laadun valvonnan asiakirjoina, jotka ulkopuolinen tarkastaa määrävälein (VTT).

3.3.1 Taivutuskoe

Taivutuskoemenetelmä suoritetaan **standardin EN 408** mukaisesti lapetaivutuksena (kuva 15.). Menetelmä on niin sanottu nelipistetaivutus, jossa pisteiden asema määräytyy lamellivahvuuden perusteella. Kuormitusnopeus valitaan niin, että murtuma tapahtuu viidessä minuutissa (± 2 minuuttia). Murtumishetken kuorma (P) kirjataan ylös, mistä lasketaan kappaleelle taivutuslujuus δ [N/mm²] kaavalla:

$$\delta = \frac{3 \times Pa}{h \times b} = \frac{18 \times P}{h \times b} = [N / mm^2]$$

Missä:

$$\delta = \text{taivutuslujuus} [N / mm^2]$$

$$P = F = \text{murtokuorma} [N]$$

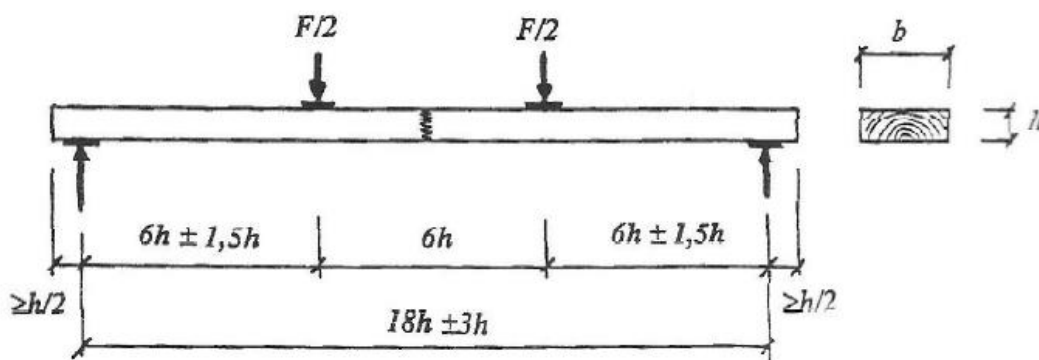
$$a = \text{painimen _ etäisyys _ tuelta} [mm]$$

$$b = \text{kappaleen _ leveys} [mm]$$

$$h = \text{kappaleen _ korkeus} [mm]$$

$$h_0 = \text{nimelliskorkeus} [mm]$$

$$l = 18 \times h_0 = \text{jänneväli} [mm]$$



Kuva 15. Standardin EN 408 taivutuskoejärjestely

Lujuusluokan GL30 liimapuulla lujuuden vaatimus on 40 N/mm², joka on myös taivutuskoetuloksien alaraja T22 lamelleilla. Tulosten on ylitettävä vaatimus 95 prosenttisesti. Eli 100 taivutuskoekappaleesta viisi saa olla alle 40 N/mm², mutta kuitenkin vähintään 80 % raja-arvosta eli yli 32 N/mm² ($0,8 \times 40 \text{ N/mm}^2 = 32 \text{ N/mm}^2$). Vanhalla MLT30- luokalla vastaava arvo on 38,8 N/mm². EN14081 mukainen T-lajittelu on otettava käyttöön viimeistään elokuussa 2015. Tällöin joko 95 taivutuskoetuloksen 100:sta on oltava vähintään 40 N/mm², tai viidentoista viimeisen taivutuskoetuloksen karakteristisen arvon on oltava vähintään 40 N/mm². Toisin sanoen alitusten määrän ylittäessä viisi prosenttia, siirrytään tarkastelemaan 15 edellisen koekappaleen karakteristisia taivutuslujuusarvoja. Tällä hetkellä menossa on niin sanottu murrosvaihe, kun ollaan siirtymässä vanhoista L-liimapuuluokasta GL-luokkiin. Lujuusarvo on nostettu vastaamaan ylempää arvoa, vaikka tarkastuksissa huomioidaan vielä alempi arvo ja lopullinen siirtymä tapahtuu aiemmin mainittuna ajankohtana, jolloin uudet alaraja-arvotkin tulevat käyttöön.

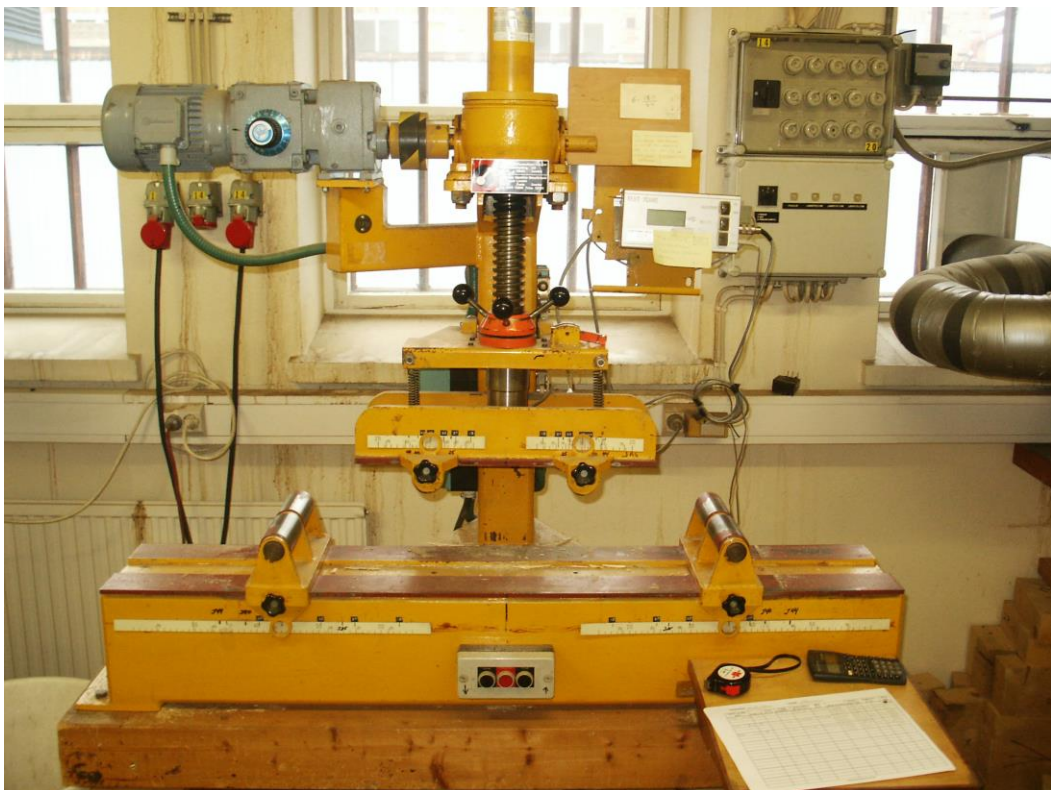
Liimapuun ja puurakenteiden mitoituksessa käytetään yleensä karakteristisia lujuus- ja jäykkyysarvoja, jotka määritellään riittävillä murtokokeilla laboratorio-olosuhteissa. Materiaalin karakteristinen lujuus riippuu sekä tuloksien keskiarvosta että keskihajonnasta ja näytteen koosta. Normaalisti lujuusmitoituksen lähtökohtana on alempi 5 prosentin kvantiili, toisin sanoen se arvo, joka alitetaan viidessä tapauksessa sadasta. (Carling, O. 2003, 14.)

Karakteristinen taivutuslujuus saadaan kertomalla taivutuskoetuloksien keskiarvo kertoimella k_1 . Kerroin k_1 taas määräytyy variaatiokertoimen $v\{x\}$

avulla, joka keskihajonnan ja keskiarvon osamäärä. Taulukosta 6 (luvussa 5.2.4) selviää tiettyä variaatiokerrointa $v\{x\}$ vastaava kerroin k_1 näytteen koon perusteella. Taulukko ja tarkempi selitys on esitetty luvussa 5.2.4. (SFS-EN 14080.)

Taivutuskoekappale on noin 1,5 m mittainen lamelli, jossa on keskellä sormijatkos. Molemmilta sormijatkoslinjoilta otetaan taivutuskoekappaleita vähintään 3 kpl / vuoro, niinä päivinä kun niillä on tuotantoa. Koekappaleiden lappeet höylätään määrämittaan tavallisimmin 44 mm:iin tai 33 mm:iin, riippuen sahatavaran alkuperäisestä paksuudesta.

Tulokset kirjataan taivutuskoepöytäkirjaan ja siihen kirjataan myös murtumatyyppi (S=sormista, SP=sormien pohjasta, SE=sekamurto, M=puusta). Lisäksi pöytäkirjaan merkitään muun muassa jatkosten valmistuspäivämäärä, testauspäivä, koekappaleen kosteus, sahanumero, puulaji ja dimensio sekä kuorma murtorajalla [N]. Kuvassa 16 on esitetty sormijatkosten testaukseen Latella käytettävä taivutuskoelaitteisto.



Kuva 16. Lamellien taivutuskoelaitteisto (Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015)

3.3.2 Delaminointikoe

Delaminointikoe suoritetaan standardin **EN 391 METHOD B** mukaisesti. Delaminointikoekappale on palkin päästä sahattu 70 mm:n mittainen ja koko palkin poikkileikkauksen kokoinen pala. Koekappale otetaan liimatuista palkeista vähintään yksi jokaisesta tilauksesta ja yksi jokaista valmistettua kymmentä liimapuukuutiometriä kohden. Koekappaleet altistetaan vedellä täytetyssä säiliössä ali- ja ylipaineelle (½h alipaine 70 kPa ja 2h ylipaine 600 kPa), jolloin ne kyllästyvät vedestä. Tämän jälkeen koekappaleet kuivataan lähelle alkuperäistä kosteutta kiertoilmauunissa noin +70 °C:ssa. Kuivaus kestää koekappaleen koosta riippuen noin 20–22 tuntia. Tämän jälkeen liimasaumojen aukeamat tarkastetaan, mitataan ja kirjataan delaminointikoe-pöytäkirjaan.

Delaminointikoeprosentti saadaan laskettua jakamalla auenneiden liimasaumojen yhteenlaskettu pituus kaikkien saumojen yhteenlasketulla pituudella ja kertomalla tulos sadalla. Otetaan esimerkiksi palkki, jonka poikkileikkauspinta-ala on 140x360 mm. Se on liimattu 8 lamellista, lamellivahvuuden ollessa 45 mm. Oletettu aukeama koko palkissa olkoon 55 mm. Huom. kahdeksan lamellisessa palkissa on ”vain” seitsemän saumaa, siitä nimittäjän 7.

$$Del\% = \frac{55mm}{2 \times (140 \times 7)mm} \times 100 = \frac{55mm}{1960mm} \times 100 = 2,8\%$$

Koekappaleen liimasaumat eivät saa olla auki enempää, kuin 4 % yhteenlasketuista liimasaumoista eli edellä mainittu esimerkki täyttää raja-arvon sen osalta. Yksittäinen liimasauma ei saa olla auki yli 40 %. Jos 4 % kuitenkin ylittyy, on koekappale laitettava uudelle kierrokselle, jolloin yhteenlaskettu aukeama saa olla enintään 8 %. Yksittäisen liimasauman aukeama ei edelleenkaan saa ylittää 40 %.

4 KUUSISAHATAVARA

4.1 Puun rakenne ja ominaisuudet

Puu on monipuolinen ja ympäristöystävällinen raaka-aine. Sillä on useita erityisominaisuuksia, kuten hyvä lämmöneristyskyky, huokoisuus, sitkeys ja kimmoisuus, jotka eivät yhdisty missään muussa materiaalissa. Puuta on perinteisesti käytetty rakennusmateriaalina sisustuksessa ja erilaisten tarve-esineiden valmistuksessa. Puun ominaisuuksiin vaikuttavat iän ja kasvunopeuden lisäksi myös kasvupaikka ja ilmasto. Niinpä saman puulajin tiheys ja sydänpuun väri voivat vaihdella huomattavan paljon. Ominaisuuksien vaihtelua tapahtuu myös puun ytimestä pintaan ja tyveltä latvaan siirryttäessä. (Fagerstedt ym. 1996, 7.)

Puun kemiallisen koostumuksen pääosat ovat selluloosa ja ligniini. Selluloosaketjut määrittävät pitkälti puun ominaisuudet, ja ligniinin päätehtävänä on toimia liimana selluloosamolekyylien välillä. (Isomäki ym. 2005, 14.)

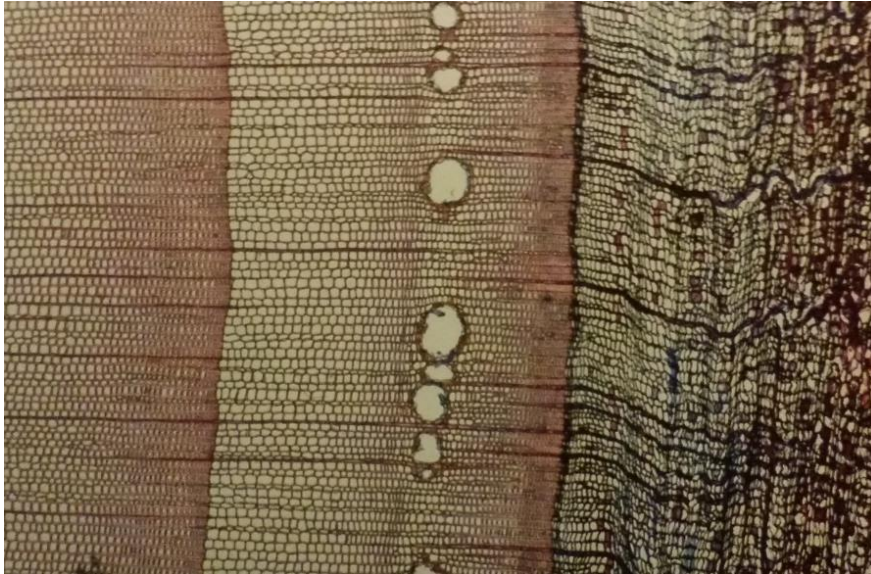
Runkopuun vaaleaa ulkokehää kutsutaan pintapuuksi eli mannoksi ja sydänpuulla tarkoitetaan puun rungon sisintä osaa, joka poikkeaa useimmilla puulajeilla ulkokehästä tummemman värinsä ja alhaisemman kosteutensa puolesta. Sydänpuu on kuollutta solukkoa. Kuusella puuaines on vaaleaa eikä kellertävä sydänpuu erotu selvästi pintapuusta. (Fagerstedt ym. 1996, 8.)

Havupuun rungon poikkileikkauksesta voidaan paljaalla silmällä erottaa vaaleampia ja tummempia renkaita (kuva 17). Tällaisesta rengasparista käytetään nimitystä vuosilusto. Kasvukauden alussa syntyvää nopeasti kasvavaa solukkoa kutsutaan kevätpuuksi eli varhaispuuksi ja myöhemmin kesällä kasvun hidastuessa muodostuvaa solukkoa sanotaan kesäpuuksi eli myöhäispuuksi (kuvat 18 ja 19). Havupuilla, kuten kuusella, kevätpuu erottuu vaaleampana ohutseinäisten ja laajaonteloisten solujensa ansiosta. Kesäpuun solut ovat läpimitaltaan pienempiä ja niiden seinämät ovat paksumpia kuin kevätpuussa, joten ne erottuvat tummempina vuosilustossa. Pihkatiehyet erottuvat usein vaaleina pisteinä kesäpuuvyöhykkeessä. (Fagerstedt ym. 1996, 8.)

Kevätpuun laaja onteloisten solujen muodostumisen taustalla on puun fysiologiset tarpeet. Kun puun elintoiminta keväällä pääsee vauhtiin, on sillä kiireellisimpänä tarpeena saada ravinto- ja rakennusaineliuosten johtoverkosto kuntoon (kevätpuu). Kun tästä kudoksesta soluonteloiden suuruuden vuoksi tulee suhteellisen heikkoa, on puun myöhemmin kesällä pidettävä huoli myös siitä, että uudesta vuosilustosta tulee tarpeeksi luja. Keväällinen laiminlyönti onkin korjattava kasvattamalla myöhemmin keväällä vankka seinäistä lujaa solukkoa – kesäpuuta. (Jalava 1952, 35.)



Kuva 17. Kuusen vuosirenkaat (Metla.fi 2015).



Kuva 18. Lepotilassa oleva kuusen poikkileikkaus, jossa ydin on vasemmalla ja kuori oikealla. Keskellä olevat reiät ovat pihkatiehyitä (Kärkkäinen 2007, 37).

Kuvan 18 puu on kärsinyt veden puutteen tai jonkin muun syyn vuoksi stressistä, minkä vuoksi yhdessä kasvukauden vaiheessa on syntynyt runsaasti pihkatiehyitä. Kuvassa on selvästi nähtävissä aiemmin mainitut kevät- ja kesäpuun erot soluonteloiden koon suhteen (pihkatiehyiden molemmin puolin, vasemmalla kevätpuu ja oikealla kesäpuu). (Kärkkäinen 2007, 37.)



Kuva 19. Nuoren kuusen poikkileikkaus (Kärkkäinen 2007, 24).

Puu on hygroskooppinen materiaali. Eli puu poikkeaa useimmista muista aineista siinä, että se imee luonnostaan kosteutta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden mukaisesti. Kutakin lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta vastaa aina tietty puun kosteus eli tasapainokosteus. Esimerkiksi ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100 % asettuu puu 28–30 %:in kosteuteen huoneenlämmössä, tätä kutsutaan kyllästymispisteeksi. Puun imiessä kosteutta sen tilavuus myös kasvaa. Toisin sanoen puun tiheys muuttuu näennäisesti kosteuden vaihdellessa. Tiheydellä tarkoitetaan tilavuudeltaan yksikön suuruista kappaleen painoa. Tiheys voidaan ilmoittaa tuoretiheytenä, kuivan puun tiheytenä tai kuten Suomessa teknisissä tarkoituksissa 15 %:n kosteustilassa. (Isomäki ym. 2005, 16–18.)

4.2 Puun lujuusominaisuudet

Kappaleen tai aineen mekaanisella lujuudella tarkoitetaan sen kykyä vastustaa siihen vaikuttavien kokoa tai muotoa muuttavien voimien vaikutusta. Mikäli voimavaikutuksen lakattua aineen sisäiset voimat palauttavat kappaleen alkuperäiseen tilaan, voidaan sanoa että aine on kimmoisaa eli elastista. Puu materiaalina noudattaa eräin poikkeuksin Hooken lakia (kappaleen muodonmuutos on suoraan verrannollinen voimaan) suhteellisuusrajaan saakka. Kun puukappaletta kuormitetaan sen suhteellisuusrajan yli, ei muodonmuutos noudata enää Hooken lakia, kuten ei muillakaan materiaaleilla. Kimmorajaan asti muodonmuutos on kuitenkin puulla palautuva. Kuormitusta lisättäessä kappaleen murtumiseen saakka, saavutetaan murtoraja. Puun lujuutta kuvataan tavallisesti sillä jännityksellä, joka vallitsee murtorajalla. Tästä käytetään yleisnimitystä murtolujuus. Tässä työssä tullaan puhumaan myös taivutuslujuudesta. (Kärkkäinen 2007, 215.)

4.2.1 Taivutuslujuus

Puun taivutuslujuuden määrittäminen on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, sillä se tulee kysymykseen useimmissa puun käyttömuodoissa, kuten esimerkiksi lattian ja katon kannattimissa sekä liimapuurakenteissa. Taivutuslujuus onkin oikeastaan yhdistelmä puristus- ja vetolujuudesta. Kappaletta taivutettaessa syntyy sen koveralle (ylä)puolelle puristusjännitystä ja kuperalle

(ala)puolelle vetojännitystä, tämä ei kuitenkaan päde kaarevilla liimapuupalkeilla (katso kuva 23, luvussa 4.5). Näille kappaleen ominaisuuksien mittaamiselle on myös erityiset puristus- ja vetokokeet, joita tämän työn yhteydessä ei kuitenkaan tulla sen tarkemmin esittämään. (Jalava 1952, 287.)

Taivutuslujuus virheettömällä puulla on samaa suuruusluokkaa kuin vetolujuus, vaikka puristuslujuus on noin puolet vetolujuudesta. Lisäksi sekä veto- että puristuslujuus riippuvat suoraviivaisesti tiheydestä. Taivutuslujuus on myös tiheyden lineaarinen funktio. (Lindgren 1997, 21)

4.2.2 Puun lujuusominaisuuksien ja ainetta rikkomattomien suureiden välisiä yhteyksiä

Kirjassaan Kärkkäinen (2007, 227–228) esittää, että puun lujuuteen vaikuttaa yleensä eniten sen tiheys. Joissain tutkimuksissa tiheys tulee vasta jäykkyyden eli kimmokertoimen jälkeen. Toki muillakin ominaisuuksilla on merkitystä kuten muun muassa kevätpuun ja kesäpuun osuudella vuosilustossa (vaikka vuosiluston paksuudella ja kuusen tiheydellä on likeinen yhteys, sillä vuosiluston paksuuden kasvaessa sahatavaran lujuus useimmiten alenee).

Puun tiheyttä arvioitaessa on aina ilmoitettava sen kosteus (Latella 10–12 %). Suomalaisen kuusen tiheys vaihtelee 300 – 470 kg / m³ (15 %). (Puuinfo 2014d.)

Tiheyden vaikutus puun lujuuteen on niin selvä, että monet lujuusominaisuudet voidaan ennustaa varsin hyvin pelkän tiheyden avulla. Ennustamiseen eniten käytetty yhtälö on muotoa: $s = ad^b$

missä:

s = lujuus Mpa (N / mm²)

a = kerroin

d = suhteellinen tiheys

b = eksponentti

Kirjallisuuden perusteella on selvitetty yli 1 000 puulajin lujuus ja tiheys, jolloin tuloksiksi on saatu seuraavat tulokset (tuloksia on useita, mutta tämän työn puitteissa merkityksettömiä):

$$a = 167,4$$

$$b = 1,03$$

jolloin helpolla laskutoimituksella on saatavissa edellä mainituille kuusen tiheyksille (300 – 470 kg / m³) taivutuslujuusarvon vaihteluväli.

Jos kuusen kuiva-ilmakuivatiheys on 300 kg / m³ eli suhteellinen ilma-kuivatiheys 0,300, taivutuslujuudeksi saadaan ilmakeivana:

$$s = ad^b = 167,4 \times 0,300^{1,03} = 48,44 \text{ N / mm}^2$$

Jos taas suhteelliseksi ilma-kuivatiheydeksi valitaan 0,470 saadaan tulokseksi:

$$s = ad^b = 167,4 \times 0,470^{1,03} = 76,92 \text{ N / mm}^2$$

Suuruusluokka on lähellä oikeaa (ehkä aavistuksen ”yläkanttiin”) kun verrataan ennustetta Lindgenin (1997, 47–48) tekemiin kokeisiin, jossa tiheyden keskiarvoksi Suomalaiselle kuuselle on saatu 441 kg / m³ ja taivutuslujuudeksi 49,48 N / mm². (Kärkkäinen 2007, 227-228.)

Vaikka edellisen laskutoimituksen tulokset ovatkin lähellä todellisia mittaus-tuloksia, voidaan Nordic Woodin teettämän (Hoffmeyer ym. 1995) tutkimuksen perusteella puun lujuutta arvioida paremmin sen jäykkyydellä. Taulukossa 2 esitetään taivutuslujuuden ja useiden suureiden välisien yhteyksien selityks-asteet, r². (r² on Pearsonin korrelaatiokertoimen neliö, mikä selittää suoraan kuinka suuren osan Y:n vaihtelusta X selittää) (KvantiMOTV 2015). Jos puun lujuutta halutaan arvioida yhdellä suureella, voidaan taulukosta havaita, että tärkein tutkituista suureista on jäykkyys eli kimmokerroin. 53–72 % taivutus-lujuuden vaihtelusta selittyy pelkästään kimmokertoimella. Taulukko 2 osoittaa myös, että jäykkyyden jälkeen seuraavaksi paras taivutuslujuuden selittäjä on oksien koko tai puun tiheys. (Hoffmeyer ym. 1995, 10–12.)

Taulukko 2. Eri tutkimuksista koottu selitysasteiden r^2 vertailu taivutuslujuuden ja ainetta rikkomattomien parametrien välillä. Tutkittavana kuusi (*Picea abies*) (Hoffmeyer ym. 1995, 11.)

Taivutuslujuuteen vaikuttavat tekijät	Selitysaste r^2						
	Taivutus				Veto		
Oksat	0,27	0,20	0,16	0,25	0,36	0,42	0,30
Vuosirenkaan leveys	0,21	0,27	0,20	0,44	0,36	0,33	0,28
Tiheys	0,16	0,30	0,16	0,40	0,38	0,29	0,38
Kimmokerroin, taivutus tai veto	0,72	0,53	0,55	0,56	0,70	0,69	0,58
Kimmokerroin, lappeellaan lyhyt jänne							0,74
Oksat + vuosiluston paksuus	0,37	0,42	0,39		0,49		
Oksat + tiheys	0,38		0,38		0,55	0,61	0,64
Oksat + kimmokerroin	0,73	0,58	0,64		0,70	0,76	0,78

Visuaalisen lajittelun säännöt perustuvat Pohjoismaissa pääasiassa oksien kokoon ja sijaintiin, koska oletuksena on, että oksien koon sekä lukumäärän ja mekaanisten ominaisuuksien välillä on riittävä korrelaatio. Taulukosta 2 kuitenkin nähdään, että vain 16–27 % taivutuslujuuden vaihtelusta on selitettävissä oksilla. Kuitenkin on ilmeistä, että puun lujuus alenee oksakoon kasvaessa, mutta myös tulosten hajonta on suuri ja näin ollen oksasuureen kyky ennustaa lujuutta on rajoitettu. Syyksi oksasta aiheutuneeseen murtumiseen on esitetty muun muassa itse oksan ympärillä olevassa puuaineksessa olevat syyhäiriöt. Tämä siksi, että murtuma tapahtuu harvoin itse oksasta vaan oksaa ympäröivästä materiaalista. (Hoffmeyer ym. 1995, 11–12.)

Parhaaseen tulokseen kuitenkin päästään, kun taivutuslujuutta ennustetaan suureiden yhdistelmillä. Taulukossa 2 havaitaan, että yhdistämällä oksat ja kimmokerroin voidaan 58–73 % taivutuslujuuden vaihtelusta selittää näiden kahden suureen avulla. (Hoffmeyer ym. 1995, 13.)

4.2.3 Muita lujuusominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä

Rakennussahatavaran lujuus vaihtelee sen mukaan, miltä rungon korkeudelta se on otettu. Tutkimustuloksista ei yksiselitteisesti käy ilmi, miksi lujuus pienenee rungossa ylöspäin mentäessä, ja se on riippuvainen sekä puulajista että sahauskuvioista. Yksi selitys lujuuden pienenemiselle on se, että kun

kappale on sahattu korkeammalta, siinä esiintyy enemmän ja suurempia oksia kuin rungon alaosasta sahatussa kappaleessa. Tämä ei kuitenkaan luonnollisesti vaikuta visuaalisen lajittelun laatuun, jossa oksien kokoa ja määrää rajoitetaan. (Hoffmeyer ym. 1995, 14–15.)

On myös yleisesti tunnettua, että sahatavaran lujuus pienenee sen mittojen kasvaessa (Hoffmeyer ym. 1995, 15). Lujuutta voidaan kuvata niin sanottu ”heikoin lenkki” -periaatteella. Lenkkien lukumäärän eli kappaleen tilavuuden kasvaessa samasta lenkkien lujuusjakaumasta löytyy aina heikompi lenkki. Toisin sanoen suurempaan kappaleeseen osuu suuremmalla todennäköisyydellä murtumaan johtava vika. Tämä tilavuusefektii on havaittu sekä taivutus- että leikkauslujuudessa. (Lindgren 1997, 23.)

Kuormitusnopeuksilla on havaittu myös olevan vaikutusta puun lujuuteen. Esimerkiksi kuormitettaessa virheetöntä puukappaletta erilaisilla kuormitusnopeuksilla pienenee lujuus kuormitusajan kasvaessa. Lyhytaikaisessa kuormituksessa muodonmuutos on verrannollinen jännitykseen (Hooken laki) ja se on palautuva. Aikavaikutus on taivutuksessa ja vedossa suurempi kuin puristuksessa. Vakiokuorman vaikuttaessa pitkäaikaisesti puukappaleeseen ja siihen voiman vaikutuksesta mahdollisesti syntyviä lisämuodonmuutoksia, kutsutaan virumiseksi. Puun kosteuden vaihtelulla on suuri merkitys virumisen lisääntymiseen ja sitä kautta murtumiseen. (Lindgren 1997, 23.)

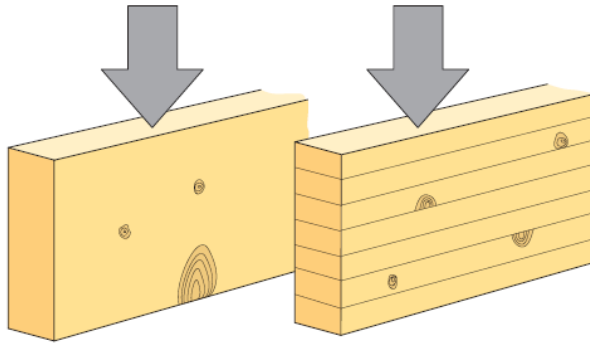
4.3 Puun viat

Tarkastellessamme puuta eri käyttäjien kannalta, arvostellaan moni sellainen seikka viaksi, joka ei sitä ole esimerkiksi kasvitieteilijän näkökulmasta. Niinpä puun käyttäjä (tai liimapuun valmistaja) laskee oksat usein hyvinkin pahoiksi vioiksi ja säännöttömyyksiksi, vaikka oksaisuus onkin aivan normaali ja poikkeukseton ilmiö puussa. Toisaalta on olemassa sellaisiakin vikoja, jotka kasviopin kannalta katsottuna ovat selkeitä rakennevirheitä ja säännöttömyyksiä, mutta käyttäjän silmällä katsottuna nostavat puun arvoa, kuten esimerkiksi visaisuus ja laineisuus. (Jalava 1952, 15.)

Yksinkertaisuudessaan vioilla tarkoitetaan kaikkia niitä poikkeamia normaalista, jotka vaikuttavat puun käyttökelpoisuuteen. (Kärkkäinen 2007, 256.)

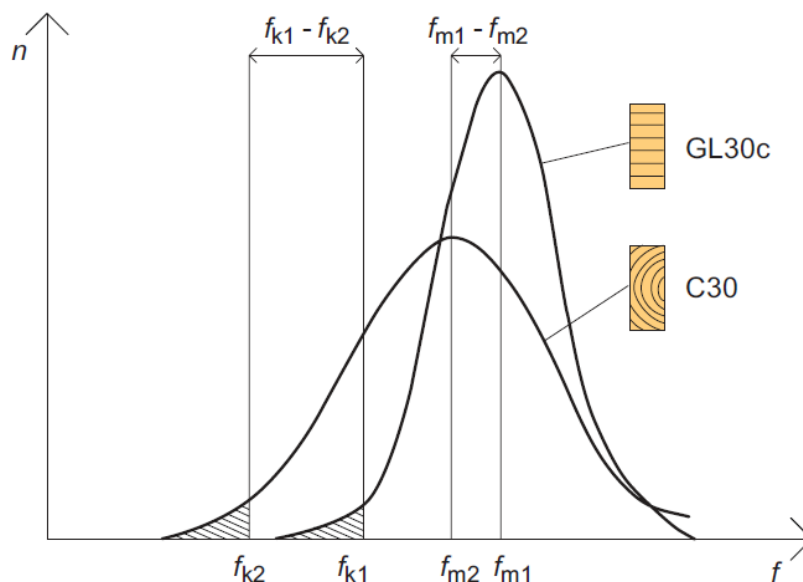
Kuitenkin tämän työn yhteydessä viat tullaan rajamaan liimapuun valmistajan kannalta oleellisiin eli lopullisiin sahatavaralamelleihin jääviin vikoihin, ei niinkään runkopuussa esiintyviin vikoihin, kuten rungon mutkaisuus, pahkaisuus ja puun kuoren viat (vaikka ne vaikuttavatkin osaltaan ulossahattujen lamellien ominaisuuksiin). Viat voidaan luokitella kasvuvikoihin ja varastoinnista, valmistuksesta tai käytöstä johtuviin vikoihin. Jälkimmäisessä yleisimpiä ovat esimerkiksi trugin piikeistä tai muusta siirtelystä aiheutuneet kolhuja halkeamat. Luvussa 4.5 kerrotaan tarkemmin lujuuslajittelussa sallitut oksat ja niiden paikat sekä muut sallitut poikkeamat.

Yksittäisen rakennesahatavara kappaleen lujuuden määrittää sen heikoin poikkileikkauskohta. Tavallisesti kohta missä on suuri oksa, sormijatkos tai syyhäiriö. Eri sahatavarakappaleiden lujuusominaisuuksissa on kuitenkin suuriakin eroja, riippuen esimerkiksi siitä mistä kohtaa puun runkoa se on sahattu. Liimapuiset rakennusosat ovat keskimäärin sekä lujempia että jäykempiä kuin samankokoiset tavalliset sahatavarakappaleet. Tämä selittyy liimapuun niin sanotusta laminointivaikutuksesta, jossa liimapuinen rakennusosa koostuu useista sahatavaralamelleista. On hyvin epätodennäköistä, että saman (liimapuun) poikkileikkauksen kaikissa kohdissa olisi samaan aikaan lamellin heikoin kohta (kuva 20). Tämän lisäksi lamellit ovat lujuuslajiteltu, mikä pienentää niissä olevien vikojen kokoa ja määrää. Siksi liimapuisilla rakennusosilla on parempi keskimääräinen lujuus ja pienempi lujuusominaisuuksien hajonta, kuin vastaavilla sahatavarasta valmistetuilla osilla. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 22.)



Kuva 20. Laminointivaikutus. Liimapuu (oikealla) on lujempaa, kuin samankokoinen yksittäinen sahatavarakappale (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 22).

Kuvassa 21 on esitetty liimapuun ja yksittäisen sahatavaran lujuusominaisuuksien ero ja lujuuksien keskiarvojen ero. Kuvan tarkoittamassa liimapuussa on useita lamelleja ja on lujuusluokaltaan GL30c, jossa c tulee sanasta combined (katso lisää luvusta 2). (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 21–22).



Kuva 21. Liimapuun ja rakennesahatavaran erot. Missä: $f_{k1} - f_{k2}$ = ominaisuuksien ero ja $f_{m1} - f_{m2}$ = lujuuksien keskiarvojen ero (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 23).

4.3.1 Oksat

Oksat ovat puumateriaalin yleisimpiä vikoja ja niiden esiintymistä voidaan pitää vikaisuutena kahdestakin syystä. Puuaineen sisällä on (voi olla) niin sanottuja sisäoksia ja rungon vaippapinnan ulkopuolella olevat ulko-oksat ovat perinteisissä puunkäyttömuodoissa tarpeettomia tai haitallisia, ja ne on useissa tapauksissa poistettava rungosta. Näin ollen useimpien käyttäjämuotojen ideaalipuu on oksatonta. Kuitenkin on otettava huomioon, että (ulko)oksien käyttö on lisääntynyt joko kokopuuhaketuksen yhteydessä tai hakkuutähteenä (muun muassa biopolttoaineena). Ulko-oksien ominaisuuksilla on kuitenkin looginen yhteys sisäoksien ominaisuuksiin ja muodostumiseen. Esimerkiksi kuivan ulko-oksan tyviosasta muodostuu kuiva sisäoksa ja elävästä oksasta vastaavasti terve sisäoksa. (Kärkkäinen 2007, 269–270.)

Puun käyttäjälle (esim. rakennesahatavara) on kuitenkin merkitystä vain sisäöksillä (vaikka ulko- ja sisäöksillä selvä yhteys onkin), jotka aiheuttavat epäsäännöllisyyksiä itse puuainekseen. Jokainen oksa on yhteydessä puun rungon ytimeen, josta oksan ydin lähtee. Oksan puuaines on sisäiseltä rakenteeltaan erilaista kuin rungon puu, ja sen syyt ovat poikittaisessa asennossa rungon syihin nähden. Näin ollen rungon syiden täytyy tehdä kaarto oksan kohdalla ja väistää sitä kahdelta puolelta. Tämä luo epäjärjestystä puun syiden säännöllisestä suunnasta, joka vaikuttaa alentavasti puun lujuusominaisuuksiin. Oksa itsessään (etenkin havupuilla) on kovempaa kuin sitä ympäröivä puuaines, mikä voi vaikeuttaa puun työstöä. Lisäksi oksan puuaines on tiiviimpää kuin rungon, ja sen vuoksi oksa kutistuu kuivuessaan sitä ympäröivää puuta enemmän. Näin ollen laudassa tai lankussa olevat elävät oksat halkeilevatkin kuivuessaan, kuitenkin pysyen kiinni. Niin sanotut kuolleet oksat ovat kuitenkin puun käytön kannalta paljon haitallisempia, kuin elävät oksat. (Jalava 1952, 70–71.)

Kuusen oksat ovat kuitenkin suhteellisen pieniä eivätkä ne yleensä ole pihkajuovien ympäröimiä kuten männyllä. Lujuuslajittelussa kaikkien puulajien oksakokoa kuitenkin rajoitetaan, lujassakin puussa voi kuitenkin olla varsin suuria oksia. (Liimapuukäsikirja osa1 2014, 19.)

4.3.2 Reaktiopuu eli lyly eli janhus

Havupuilla reaktiopuusta käytetään nimeä lyly (janhus, kompressiopuu). Havupuiden lylyä tavataan kallistuneiden runkojen alapinnalla, kuvan 22 mukaisesti ja lylyinen runko on epäkeskeinen. Jos etelän puoleiset tuulet vallitsevat on puun pohjoisella puolella lylyn esiintyminen keskimääräistä runsaampaa. Välittömin lylyn syntyyn vaikuttava tekijä on kuitenkin painovoima. (Kärkkäinen 2007, 288–289.)

Lyly on väriltään muuta puuta tummempaa eikä kevät- ja kesäpuun värierot ole niin selviä, kuin normaalipuulla. Tiheys on lylyisellä puulla normaalipuuta suurempi ja lyly kestää hyvin puristusta, mutta se on vetolujuudeltaan huonompaa kuin tavallinen puu. Lisäksi lylyn liimattavuus on normaali puuta heikompi. (Varjonen 2011, 20.)



Kuva 22. Rungon kaltevuuden vaikutus reaktiopuun (lylyn) muodostumiseen (Puuproffa 2015).

Mielenkiintoinen yksityiskohta on, että lehtipuu kasvattaa lylyn kaltevuuden yläpuolelle niin sanotuiksi vetosolukoksi, kun taas havupuun lyly kehittyy päinvastaiselle puolelle ja toimii tukisolukkona (kuva 22) (Puuproffa 2015).

4.3.3 Syyhäiriöt

Puun kierteisyydellä tarkoitetaan solukkojen poikkeamista sen pääasiallisesta suunnasta rungossa. Kierteisyyttä pidetään vikana muun muassa sahateollisuudessa, koska se kuivaessaan aiheuttaa sahatavaran kieroutumista ja lujuuden alenemista. Kuivauksessa sahatavaran kieroutumiseen vaikuttaa pääasiassa tekijä f/r , jossa f on puun kierteisyys ja r on etäisyys ytimeistä. Toisin sanoen sahatavaran kieroutuminen kasvaa rungon kierteisyyden kasvaessa ja toisaalta kieroutuminen vähenee ytimeistä puun pintaan päin mentäessä. Kierteisyyden aiheuttama syiden suunnan poikkeaminen sahatavarakappaleen suunnasta aiheuttaa lujuuden alenemista ja joissain tutkimuksissa tälle on saatu suoraviivainen yhteys. Esimerkiksi kierteisyyden ollessa 15° taivutuslujuus on vain 50 % suorasyisen kappaleen taivutuslujuudesta. Keskimäärin lujuuden aleneminen on kuitenkin vähäisempää, siten että syysuunnan 10 %:in poikkeama koekappaleen pituussuunnasta alentaa lujuutta 12–15 %. Joka tapauksessa kierteisyyttä voidaan pitää pahana vikana lujuuden kannalta. (Kärkkäinen 2007, 308–313.)

4.3.4 Sinistäjä- ja homesienet

Sinistäjä sienet ja muut värivikaa aiheuttavat sienet ovat niin sanottuja puuta lahottamattomia sieniä. Sinistäjä sienet kasvavat jopa alle $+5^\circ\text{C}$:ssa, mutta optimaalinen kasvu tapahtuu $25\text{--}30^\circ\text{C}$:ssa, puun kosteuden ollessa 35–50 %. Sinistäjä sienet leviävät itiöinä tai rihmaston kasvuna. Sinistymä leviää suotuisissa olosuhteissa säteen suunnassa jopa 10–15 mm viikossa ja syiden suunnassa 50 mm viikossa. Pahin sinistäjä sienien aiheuttama vaikutus puuhun on värin muutos, jota pidetään melkein poikkeuksesta ei toivottuna ominaisuutena. Nimestään huolimatta sinistäjä sienien väri voi olla myös harmaata. Sinistäjä sienien vaikutus soluseinämään on vähäinen, joten puun mekaaninen lujuus ei olennaisesti alene terveeseen puuhun verrattuna ja sinistynyttä puuta voidaan käyttää normaalin puun tavoin. Kuitenkin sahatavaran lujuuslajittelussa sinistymään suhtaudutaan melko kriittisesti. (Kärkkäinen 2007, 321–322.)

Homeet hyödyntävät puuta kasvualustanaan ja käyttävät sen pinnalla olevia liukoisia ravintoaineita. Puuaineen hajoaminen on vähäistä verrattuna valko- ja ruskolahottajiin, mutta kuitenkin mahdollista sekä massiivipuissa että muissa puutuotteissa. Homekasvun edellytyksenä on riittävä ilmankosteus ja lämpötila. Kasvu tapahtuu laajalla lämpötila-alueella (+5 – +40 °C) ja optimaalinen ilmankosteus on 96–98 %. Homeen kasvu pysähtyy alle 75 %:in suhteellisessa ilmankosteudessa. Myös puun kosteus vaikuttaa homehtumisen todennäköisyyteen. Homeen kasvu keinokuivatulla ja höylätyllä pinnalla on vähäistä. Tärkein tekijä homeen torjunnassa on pitää puuaines kuivana. (Kärkkäinen 2007, 322–323.)

4.3.5 Lahottajasienet

Laholla tarkoitetaan lahottajasienen kemiallisesti tai fysikaalisesti muuttamaa puuta. Lahottajat jaetaan yleisesti valko-, rusko- ja katkolahottajiin. Useat valko- ja ruskolahottajat ovat tehokkaita puun lahottajia, mutta vaativat korkean alkukosteuden voidakseen toimia. Laboratorio-olosuhteissa onkin saatu valkolahottajan toimesta puuaineen massasta häviämään puolet kuuden kuukauden aikana. Katkolahottajat ovat sen sijaan hitaita lahottajia, mutta voivat toimia äärimmäisissä olosuhteissa, kuten kuivissa tai lämpimissä olosuhteissa. Laholla on huomattava lujutta alentava vaikutus. (Kärkkäinen 2007, 324.)

4.3.6 Hyönteisvial

On arvioitu, että hyönteisistä aiheutunut puun arvon alenemisen olevan suurempaa kuin lahottajasienten aiheuttamat. Suurin osa hyönteisten aiheuttamista vahingoista tapahtuu kuitenkin metsässä estäen näin puun pääsyn teollisuuskäyttöön. (Varjonen 2011, 22.)

4.4 Sahatavaran laatuvaatimukset ja laadun varmistus liimapuun valmistuksessa

Suomessa liimapuun valmistajat käyttävät pääsääntöisesti taulukossa 3 esitetyjä liimapuulamelleja. Visuaalinen lujuuslajittelu tehdään SFS 5878 INSTA 142 standardin mukaan. Koneellinen tehdään pääsääntöisesti Dynagrade-lajittelukoneella. (Liimapuu.fi 2012a.)

Taulukossa 4 on vuonna 2015 voimaantulevien liimapuulamellien T-luokat ja niiden vastaavuudet vanhojen LT-luokkien kanssa (Liimapuu.fi 2012a).

T22 lujuusluokan lamellien sormijatkoksien taivutuslujuuden ominaisarvo on oltava vähintään 40 N/mm² (Liimapuu.fi 2012a).

Taulukko 3. Käytössä olevia liimapuulamelleja ja niiden ominaisuuksia (Liimapuu.fi 2012a).

Luokka	Vetolujuus N/mm ² f_k	Kimmo kerroin N/mm ² E_{mean}	Tiheys kg/m ³ ρ_k	Viite
<u>Visuaalinen lujuuslajittelu</u>				
LT30	22,0	13500	390	SFS 5878 INSTA 142
LT20	15,5	11500	390	SFS 5878 INSTA 142
<u>Koneellinen lujuuslajittelu</u>				
MLT30	22,0	13500	390	RTE30216/98
LS22/LD22	22,0	13000	390	CEN/TC124/TG1
MLT20	15,5	11500	390	RTE30216/98
LS15/LD15	14,5	11000	350	CEN/TC124/TG1

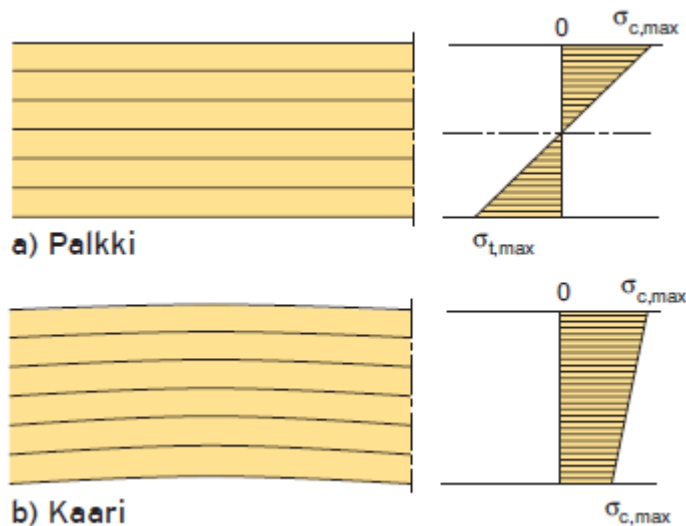
Taulukko 4. Suomessa käyttöön tulevien (2015) liimapuulamellien uudet T-luokat ja niiden vaatimukset (Liimapu.fi 2012a).

T-Luokka (lamelli)	Vetolujuus N/mm^2 f_k	Kimmokerroin N/mm^2 E_{mean}	Tiheys kg/m^3 ρ_k	Käytössä olevia liimapuulamelleja jotka täyttävät T-luokan vaatimukset
T22	22,0	13000	390	LT30, MLT30, LS22 ja LD22
T15	15,0	11500	360	LT20, MLT20
T14	14,0	11000	350	LS15, LD15

4.5 Sahatavaran lujuuslajittelu

Sahatavara lajitellaan sekä koneellisesti MLT30- ja MLT20- että visuaalisesti LT30- ja LT20- lujuusluokkiin (I- ja II- lamelleihin). Uudet lujuusluokat (T22 ja T15) korvaavat kuitenkin vanhat luokat vuoden 2015 aikana, mutta tässä työssä tullaan puhumaan vanhoista, ensiksi mainituista lujuusluokista. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan ainoastaan lajittelukoneen antamia tuloksia. Eli henkilöstä johtuva laadun hajonta on poistettu tarkastelun piiristä. I-lamelleja käytetään liimapuupalkkien pintakerroksien lamelleissa (ulkolamellit) ja II-lamelleja palkin sisäosissa lähellä neutraaliakselia (sisälamellit), jossa kuormituksen aiheuttamat veto- ja puristusjännitykset jäävät vähäisiksi.

Kuva 23 selventää kuinka kuormitetun liimapuupalkin poikkileikkauksen jännitykset jakautuvat puristus- ja vetojännityksiksi. Suoran palkin (a) keskivaiheilla (neutraaliakseli) ei ole jännitystä ja jännitys vaihtuu alapinnan vetojännityksestä yläpinnan puristusjännitykseen. Kaari (b) on sen sijaan puristettu koko poikkileikkaukseltaan, mikä kuitenkin (jännitys) kasvaa palkin yläpintaa kohden. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 39.)



Kuva 23. Kuormitetun liimapuupalkin poikkileikkauksen jännitykset (Liimapuukäsikirja osa1 2014, 39).

4.5.1 Koneellinen lujuuslajittelulaitteisto Dynagrade

Dynagrade on lujuuslajittelulaitteisto, joka perustuu puutavaran värähtelyn mittaustekniikkaan (lisäksi laser mittaa lamellin pituuden, jolla on myös vaikutusta ”takaisin kaikuun”). Laitteisto käyttää lajittelun perusteena puutavarakappaleiden resonanssitaajuuksia, jotka ovat puulle ominaisia ominaisuuksia. Resonanssitaajuuksien tarkka mittaaminen voidaan suorittaa suhteellisen nopeasti ja korkealla toistettavuudella. Mittaustuloksilla on korkea korrelaatio puutavaran jäykkyyteen ja lajittelussa saavutetaan hyvä lajittelu-tarkkuus sekä korkea saanto verrattuna esimerkiksi visuaaliseen lujuuslajitteluun. Laitteisto lähettää jokaisen kappaleen osalta lajittelusanoman, joka sisältää tiedon luokituksesta, kimmokertoimesta ja tiheydestä. Lisäksi laitteiston valvonta on yksinkertaista. Lajittelun alussa laitteisto kalibroidaan ajamalla kalibrointilankku sen läpi ja kun saadut mittaustulokset vastaavat otettuja arvoja lajittelu voidaan aloittaa. Dynagrade on hyväksytty useimpien tuotestandardien mukaisesti ja järjestelmällä voidaan lajitella liimapuulamelleja muun muassa Euroopan ja Japanin markkinoille. (Limab Oy 2015.)

4.5.2 Visuaalinen lujuuslajittelu

Visuaalisen lajittelu perustuu pääasiassa oksien kokoon ja sijaintiin, koska oletuksena on (kuten jo aiemmin on mainittu), että oksien koon sekä lukumäärän ja mekaanisten ominaisuuksien välillä on riittävä korrelaatio. Lisäksi tarkkaillaan useita muita vikoja, jotka käyvät selville taulukosta 5 sahatavaran LT-lajittelun tiivistetyt ohjeet.

Taulukko 5. Sahatavaran LT-lujuuslajittelun tiivistetyt ohjeet

Sahatavaran LT-lajittelun tiivistetyt ohjeet				
Vian nimi	Vian sallittu suuruus eri laaduissa			
	LT 40	LT 30	LT 20	LT 10
Oksat, suhde vast. sivuun syrrällä $b < 90$ mm syrrällä $b \geq 90$ mm lappeella lappeella korkeintaan	$t/4$ $t/3$ $b/5$ 30 mm	$t/3$ $t/2$ $b/4$ 50 mm	$t/2$ $2t/3$ $b/3$ 60 mm	$2t/3$ t $b/2$ 75 mm
Oksasumma	Suurimman sallitun syrrä- ja lapeoksen mittalukujen summa			
Tiheys kg/m ³	500	450	400	350
mänty	470	420	370	320
kuusi	3 mm	5 mm	8 mm	12 mm
Vuosirengasväli	1:14	1:10	1:7	1:5
Vinosyisyys	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.
Poikkisyisyys	Ei sall.	Ei sall.	Sallitaan b/2 keskellä	
Larvavika	Ei sall.	Ei sall.	Sallitaan b/2 keskellä	
Lyly	Ei sall.	Sallitaan pienessä määrin		
Halkeamat	Pituus = l	Pituus = l	Pituus = l	Pituus = l
syvyys < t	Pit. = 500 mm	Pituus = 500 mm	Pituus = 500 mm	Pituus = 500 mm
syvyys = t	Ei sall.	Ei sall.	Sallitaan b/4 keskellä	
rengashalkeama	Ei sall.	Ei sall.	Sallitaan b/4 keskellä	
kaltevuus lappeella	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.
pienempi kuin 45°				
Muotoviat 2 m:n matkalla	3 mm	6 mm	10 mm	13 mm
syrräjävyys	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
lapevävyys	b/30	b/30	b/30	b/30
kierous	b/10	b/10	b/10	b/10
Vajaaarmä	b/6	b/6	b/6	b/6
lappeella				
Kaarnaroso	2xb	3xb	3xb	3xb
pituus	t/4	t/3	t/2	t/2
syvyys	b/6	b/5	b/5	b/5
leveys				
Sinistymä	Lievää	Sallitaan	Sallitaan	Sallitaan
pinta	Ei sall.	Lievää	Sallitaan	Sallitaan
tukki				
Laho	Ei sall.	Ei sall.	Lievää	Lievää
kova	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.
pehmeä	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.	Ei sall.
Toukanreiät	Ei sall.	Pieniä reikiä sall. rajoitetusti		
Kuori	Ei sall.	Sallitaan kuorioksen ja kaarnarosen yhteydessä		

LT-lajittelu												
Saha- tavaran koko mm x mm	Sahatavaran lujuusluokka, oksan sijainti ja oksan koko mm											
	LT 40			LT 30			LT 20			LT 10		
	S	L	Σ	S	L	Σ	S	L	Σ	S	L	Σ
32 x 100	11	20	31	16	25	41	21	33	54	32	50	82
125	11	25	36	16	31	47	21	41	62	32	63	95
150	11	30	41	16	38	54	21	50	71	32	75	107
175	11	30	41	16	44	60	21	58	79	32	75	107
200	11	30	41	16	50	66	21	60	81	32	75	107
38 x 100	13	20	33	19	25	44	25	33	58	38	50	88
125	13	25	38	19	31	50	25	41	66	38	63	101
150	13	30	43	19	38	57	25	50	75	38	75	113
175	13	30	43	19	44	63	25	58	83	38	75	113
200	13	30	43	19	50	69	25	60	85	38	75	113
225	13	30	43	19	50	69	25	60	85	38	75	113
44 x 100	15	20	35	22	25	47	29	33	62	44	50	94
125	15	25	40	22	31	53	29	41	70	44	63	107
150	15	30	45	22	38	60	29	50	79	44	75	119
175	15	30	45	22	44	66	29	58	87	44	75	119
200	15	30	45	22	50	72	29	60	89	44	75	119
225	15	30	45	22	50	72	29	60	89	44	75	119
50 x 100	17	20	37	25	25	50	33	33	66	50	50	100
125	17	25	42	25	31	56	33	41	74	50	63	113
150	17	30	47	25	38	63	33	50	83	50	75	125
175	17	30	47	25	44	69	33	58	91	50	75	125
200	17	30	47	25	50	75	33	60	93	50	75	125
225	17	30	47	25	50	75	33	60	93	50	75	125

S = syrrä L = lape Σ = oksasumma

0 10 20 30 40 50 60 70 80 mm

t = sahatavaran paksuus b = sahatavaran leveys l = sahatavaran pituus

Sahatavaran lujuuslajitteluyhdistys r.y., Espoo

4.6 Sahatavaran varastointi

Oikeanlaisella sahatavaran varastoinnilla on tarkoitus estää sen puulle aiheutamat virheet ja viat. Tuore sahatavara on varsinkin kesäaikaan altis sinistymiselle ja homehtumiselle. Sahat tekevätkin dimensio- ja tuorelajittelun yhteydessä sahatavaralle erilaisia suojauskäsittelyitä. Tässä käsittelyssä sahatavarakappaleet joko kastetaan suoja-ainealtaaseen tai kuljetetaan

sumutustunnelin läpi. Suoja-aine tunkeutuu sahatavaraan noin 2 mm:n syvyyteen, riippuen käytetystä suojaa-aineesta ja -menetelmästä. Osa suojaa-aineesta haihtuu keinokuivauksessa. Suoja-aineina käytetään muun muassa erilaisia booriyhdisteitä, fluorideja ja orgaanisia fungisideja. Viime vuosina sahat ovat kuitenkin luopuneet kemiallisesta sahatavaran suojauksesta kokonaan tai vähentäneet sitä huomattavasti. Kuusta sahataan yleisesti suojakastelematta ja männylläkin suojaus rajoittuu vain arimpiin laatuihin. Paras keino estää sinistymistä ja homehtumista onkin pitää sahatavaran varaston kierto riittävän nopeana sekä keinokuivata sahatavara ja suojata se asianmukaisesti. (Sipi 2006, 106–107.)

Yksi varteenotettava keino tuoreen sahatavaran sinistymisen ja homehtumisen estämiseksi on rimoittaa sahatavara mahdollisimman nopeasti. Tällöin ilma pääsee kiertämään nipun välissä, ja poistaa kosteutta jo ennen varsinaista keinokuivausta. Rimoitus on välttämätön toimenpide kuivauksen onnistumisen kannalta, ja se antaa lisäaikaa varastoida sahatavaraa ulkona ennen kuivausta. Rimoitus ei kuitenkaan ole tae siitä, että jo alkanut home ja sinistymä pysähtyisivät kokonaan, mutta se kuitenkin hidastuttaa sitä.

Kuivattu sahatavara on arka kosteudelle ja sen pilaantumisriski on suuri, jos sitä käsitellään tai varastoidaan ulkona (Sipi 2006, 165). Kuivattua sahatavaraa tulee säilyttää katoksen alla suojattuna tai sisätiloissa. Latella kuiva sahatavara varastoidaan joko kylmässä kuivatavaravarastossa (KTV) tai (pääsääntöisesti) lämpimässä KTV:ssä. Viimeksi mainitussa on lämpötilan ja ilmankosteuden hallintajärjestelmä. Lämpötilaa ja ilmankosteutta kontrolloidaan läpi koko tuotannon, tuotteen virheettömyyden varmistamiseksi.

5 SAHATAVARATOIMITTAJIEN LAADUN MÄÄRITYS

5.1 Tutkimusalueen määrittely

Tutkimuksen tarkoituksena on luoda syvällistä ja yksityiskohtaista tietoa tukemaan ostoprosessia sekä ymmärtämään ostotapahtuman vaikutukset useaan prosessiin koko tuotannossa ja sitä kautta koko yrityksen olemassaolon kannattavuuteen. Kehittämistyö koskee ensisijaisesti Late-Rakenteet Oy:n yhtä liiketoiminnan ydinprosessia eli sahatavaran hankintaprosessia, joka on kuvattu luvussa 1.2.3, ja sen osaoptimointia järjestämällä sahatavaratoimittajat paremmuusjärjestykseen heidän toimittamansa sahatavaralaadun perusteella. Tieto mahdollistaa sahatavaraostojen keskittämisen laadullisesti parhaille toimittajille.

5.1.1 Tutkimusongelma

Kehittämistehtävän lähtökohtana on ollut yritysjohton halu tietää sahojen toimittamasta sahatavarasta enemmän ja nimenomaan laadun jakautumisesta lajittelussa eri lujuusluokkiin ja selvittää sahatavaran hukkaprosentti lajittelussa.

Kehittämishankkeen ensisijainen tarkoitus on selvittää Latelle saapuneen sahatavaran laatu toimittaja- eli sahakohtaisesti analysoimalla kokemuseräiseen tietoon pohjautuva raakadata informatiiviseen muotoon. Laatua tarkastellaan kolmesta eri näkökulmasta: lujuuslajittelusta syntyvän hukkaprosentin, taivutuskoetuloksien ja lujuuslajittelun laatujauman perusteella. Tarvittavat tiedot kerätään jo olemassa olevista tietokannoista ja tulosten analysoinnissa hyödynnetään tilastollisia menetelmiä. Lisäksi tarkoituksena on verrata muutamia edellä mainittuja tuloksia toisiinsa ja tarkastella niiden keskinäistä riippuvuutta (korrelaatio) sekä järjestää sahatavaratoimittajat laadulliseen paremmuusjärjestykseen.

Työstä saatava kokonaishyöty (ja tavoitteet) voidaan tiivistää neljän tekijän ympärille: lujuuslajittelun sahatavarahukkaprosentti ja I-lamellien suhteellinen määrä kokonaistoimituksiin (sahoittain) sekä taivutuskoetulokset (N/mm²) että muutamien eri muuttujien välisen riippuvuuden selvittäminen.

Taivutuskoe on ensisijaisesti sormijatkoksien laadunvalvonnan työkalu, mutta tarkastelemalla sen antamia tuloksia murtumatyypeittäin saadaan arvokasta tietoa itse raaka-aineesta. Murtumatyypit ovat S = sormista, SE = sekamurto, SP = sormen pohjasta ja M = puusta (puun viasta). Toisin sanoen tarkastelemalla eri murtumatyyppisiä sahatavaran lujuusominaisuuksista voidaan vetää tiettyjä johtopäätöksiä sahatavaran laadusta.

Taivutuksessa murtuman tapahtuessa sormenpohjasta (SP) voidaan pois sulkea esimerkiksi oksasta aiheutunut murtuma (oksa ei saa olla aivan puun päässä), jolloin tarkastelun piiriin jää ainoastaan puuaineksen laadusta kertovat koekappaleet, eivät sen vioista (lamelleja yhteen liimaamalla liimapuuksi yksittäisen lamellin viat tasaantuvat). Toisaalta keskiarvoa paremman tuloksen ($\geq 49 \text{ N/mm}^2$) sattuessa muille murtumatyypille, kertoo nekin osaltaan puun korkeasta lujuudesta (esimerkiksi sormiliitos petti, mutta puu kesti).

Lujuuslajittelussa sahatavara lajitellaan sekä koneellisesti MLT30- ja MLT20- että visuaalisesti LT30- ja LT20- lujuusluokkiin (I- ja II- lamelleihin). I-lamelleja käytetään liimapuupalkkien pintakerroksien lamelleissa (ulkolamellit) ja II-lamelleja palkin sisäosissa lähellä neutraaliakselia (sisälamellit), jossa kuormituksen aiheuttamat veto- ja puristusjännitykset jäävät vähäisiksi. Lamellien lujuusluokat MLT30 ja MLT20 tulevat muuttumaan vuoden 2015 aikana T22- ja T15- lujuusluokkiin, tässä työssä tullaan kuitenkin puhumaan ensiksi mainituista. Lisäksi lujuuslajittelusta saatuja eri lujuusluokkiin valikoituneista kappaleista otetaan huomioon ainoastaan lajittelukoneen lajittelemat kappaleen. Eli työssä jätetään tarkoituksella huomiotta visuaalinen lajittelu, jossa on mukana myös henkilöstä johtuva laadun vaihtelu.

Latella on tällä hetkellä 25 sahatavaran toimittajaa ja 23:lla niistä on PEFC-sertifikaatti (kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä). Käytännössä noin 10 sahaa valitaan vuosittain sahatavaratoimittajiksi. Sahatavaralla on täsmällisesti määritetyt laatuvaatimukset, jotka ovat yritysjohdon hyväksymät ja ostot tehdään vain hyväksytyiltä toimittajilta. Tässä tutkimuksessa otetaankin tarkastelun piiriin kymmenkunta sahaa, joilla on riittävän suuri otoskoko.

5.1.2 Tiedonkeruu

Tutkimus pohjautuu empiiriseen tietoon eli kaikki tieto on kokemusperäistä ja tallennettu eri tietokantoihin. Tutkimusta voidaankin pitää määrällisenä kokonaistutkimuksena, koska se kohdistuu kaikkiin kohdejoukon alkioihin eli tutkimuksen kohteena on koko perusjoukko, eikä vain otanta siitä. Osa datasta saadaan olemassa olevista Excel-taulukoista, mutta osa tiedosta on syötettävä Exceliin paperisista pöytäkirjoista. Tietoa kerätään ja analysoidaan vuosilta 2013 ja 2014.

5.2 Tilastolliset menetelmät

Tämän tutkimuksen analysointiin käytetään Excel 2013 -ohjelmistoa. Kerätty aineisto luokitellaan ja taulukoidaan, jolloin tiedon analysointi on mahdollista useasta näkökulmasta. Seuraavissa alaluvuissa esitetään keskeisimmät tunnusluvut.

5.2.1 Aritmeettinen keskiarvo

Aritmeettinen keskiarvo on havaintoarvojen summa jaettuna havaintoarvojen lukumäärällä. Havaintoarvojen x_1, x_2, \dots, x_n aritmeettinen keskiarvo (KA) \bar{x} määritellään seuraavasti:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(x_1 + \dots + x_n)}{n},$$

missä:

n = havaintojen lukumäärä

x = havaintoarvo. (Holopainen ym. 2008, 83–84.)

Tämä tunnusluku on keskeisessä roolissa tarkasteltaessa taivutuskoetuloksia. Kyseisellä tunnusluvulla yhdessä keskihajonnan kanssa voidaan laskea karakteristinen taivutuslujuus, joka on esitetty luvuissa 3.3.1 ja 5.2.4.

5.2.2 Keskihajonta

Keskihajonta kuvaa havaintoarvojen ryhmittymistä keskiarvonsa ympärille. Oletetaan, että muuttujan x havaintoarvot ovat otos jostain perusjoukosta. Tällöin muuttujan arvojen keskihajonta s (KH) saadaan kaavasta:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2}$$

missä:

\bar{x} = havaintoarvojen keskiarvo

n = havaintoarvojen lukumäärä. (Holopainen ym. 2008, 90.)

5.2.3 Painotettu aritmeettinen keskiarvo

Painotettu keskiarvo huomioi eri osajoukkojen erilaisen painoarvon kokonaisuuden kannalta. Tässä keskiarvossa lukujoukon havainnoille asetetaan jokin painokerroin. Painotettu aritmeettinen keskiarvo saadaan kaavasta:

$$A_w = \frac{1}{v} \cdot \sum_{i=1}^n v_i x_i = \frac{1}{v} \cdot (v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_n x_n)$$

missä:

v_i = luvun x_i painokerroin (Karjalainen 2000, 69.)

5.2.4 Ominaisarvojen 5 %:n kvantiili

Tässä määritetään menetelmä ominaisarvojen 5 %:n kvantiilin laskemiseksi koetuloksista, ja menetelmä sen arvioimiseksi, alittaako tuotannosta otetun näytteen 5 %:n kvantiiliarvo ilmoitetun arvon.

5 %:n kvantiiliarvo tulee määrittää yksisuuntaisen 84,1 %:n luottamusvälin alarajana olettaen, että jakauma on log-normaali. Variaatiokertoimen tulee olla vähintään 0,10.

Populaatiosta otetaan n :n koekappaleen näyte, ja koekappaleet testataan ominaisuudelle x standardin EN 408 mukaisesti. Määritetään tuloksista keskiarvo $m\{x\}$ ja variaatiokerroin $v\{x\}$, jolloin voidaan arvioida ominaisarvo x_k seuraavasti:

$$x_k = k_1 m\{x\}$$

missä

$$k_1 = \exp \left\{ - \left(2,645 + 1/\sqrt{n} \right) v(x) + 0,15 \right\}$$

$v\{x\}$:n arvon tulee olla vähintään 0,10

k_1 :n arvot on annettu taulukossa 6 (SFS-EN 14080.)

Taulukko 6. Kerroin k_1 lasketun variaatiokertoimen ja näytteen koon funktiona (SFS-EN 14080).

VARIAATIOKERROIN	NÄYTTEEN KOKO n					
$v\{x\}$	15	20	30	50	100	∞
0,10	0,869	0,872	0,876	0,879	0,883	0,892
0,12	0,82	0,823	0,828	0,832	0,836	0,846
0,14	0,774	0,778	0,782	0,787	0,791	0,802
0,16	0,73	0,734	0,739	0,744	0,749	0,761
0,18	0,689	0,693	0,698	0,704	0,709	0,721
0,20	0,65	0,655	0,66	0,665	0,671	0,684
0,22	0,613	0,618	0,624	0,629	0,635	0,649
0,24	0,579	0,584	0,589	0,595	0,601	0,615
0,26	0,546	0,551	0,557	0,563	0,569	0,584
0,28	0,515	0,52	0,526	0,532	0,539	0,554
0,30	0,486	0,491	0,497	0,504	0,51	0,525

5.2.5 Pearsonin korrelaatiokerroin (r) ja selitysaste (r²)

Korrelaatio kertoo muuttujien välisen riippuvuussuhteen. Periaatteessa on olemassa kahdenlaisia korrelaatioita, riippuvia ja riippumattomia. Korrelaatiokerroin (r) osoittaa kuinka paljon muuttujan Y varianssista voidaan laskea, liittää tai määrittää muuttujan X varianssiin. (Metodix 2015.)

Korrelaatiokerroin saadaan kaavasta:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum (y_i - \bar{y})^2 \right]}}$$

missä:

x_i = muuttujan x i:nnes havaintoarvo

\bar{x} = x_i -arvojen keskiarvo

y_i = muuttujan y i:nnes havaintoarvo

\bar{y} = y_i -arvojen keskiarvo (Holopainen ym. 2008, 233.)

Regressioanalyysissä usein käytetty mallin hyvyyden mitta on determinatiokerroin (r²), joka on korrelaatiokertoimen neliö. Kertomalla tämä selitysaste sadalla, sillä voidaan selittää, kuinka suuri prosentuaalinen osuus riippuvan muuttujan vaihtelusta on mallin avulla selitettävissä. (Eduoulu 2015.) Luku saadaan korottamalla korrelaatiokerroin toiseen potenssiin.

5.3 Lajittelun sahakohtaisen hukkaprosentin määrittäminen

Tässä yhteydessä lajittelutapahtuma voidaan erotella kolmeksi tekijäksi:

- lajitellut kokonaiskuutiot (sisältää I-, II- ja III-lamellit sekä hukkapätkät)
- III-m³ (= raakki, ei sovellu sellaisenaan liimapuun valmistukseen)
- hukkapätkä m³ (puun päistä pois sahatut kappaleet, pituus noin 5–100 cm)

Näistä tekijöistä on mahdollista laskea vuotuinen raaka-aine- eli sahatavara-hukkaprosentti.

$$\text{Hukkaprosentti} = \frac{(\text{III} - m^3 + \text{hukkapätkät} - m^3)}{\text{kokonaiskuutiot}} \times 100$$

Esimerkkinä voidaan mainita sahatavaran hankinnasta aiheutuneet raaka-ainekustannukset vuodelle 2014, 180 euron keskihinnalla (luku ei välttämättä edusta todellisia maksettuja hintoja) per kuutiometri ovat noin: 1 715 258 €, josta raaka-aineen hukan hinnaksi muodostuu 107 032 € sahatavarahukan ollessa 6,24 %.

Sahatavaran hukan hinta ei kuitenkaan mene täysimääräisenä ”miinuksena” kirjanpitoon, vaan hukkapätkät haketetaan ja poltetaan Laten omassa lämpökeskuksessa. Toki itse haketustoiminto vaatii ainakin yhden henkilön työpanoksen synnyttäen näin ollen kuluja. Tämän lisäksi lämpökeskuksessa poltetaan kaikki liimapuun valmistuksessa syntynyt raaka-ainehukka muun muassa sahanpuru, höylälastut ja palkkien viimeistelyssä syntyvät liimapuupalkkien pätkät, toisin sanoen mitään hukkapuuta ei heitetä pois. Lämpöenergialla lämmitetään tuotantotilat ja sitä käytetään sahatavaran kuivaamiseen. Ylijäävä lämpöenergia syötetään lämmönvaihtimen kautta Turku Energian kaukolämpöverkkoon. (Turku Energia 2015.)

Yleisimmät sahatavaran hukkaan vaikuttavat tekijät:

- oksaisuus
- päiden kuivaushalkeamat
- vajaasärmäisyys
- alamittaisuus
- kierous tai mutkaisuus
- särmien lohkeamat ja repeämät

Hukkaprosentti määritetään vuosille 2013 ja 2014. Lisäksi hukkaprosentin määrittämisessä on otettu mukaan myös saha numero S25, joka toimittaa

pääasiassa painekyllästettyä mäntyä. Muissa laadun määrittelyissä kyseinen saha on jätetty pois ja keskitytään ainoastaan kuusen analysointiin.

Vuoden 2014 lajiteltu kokonaiskuutiomäärä on 9529,21 m³, joista III-lamelleja on 25,45 m³ ja hukkapätkiä 569 m³. Tästä voidaan laskea aiemmin esitetyllä kaavalla vuotuiseksi sahatavaran hukkaprosentiksi 6,24 %.

Vuoden 2013 lajittelusta tilastoitunut kokonaiskuutiomäärä on 9573,11 m³, josta III-lamellien ja hukkapätkien osuus on noin 670 m³, jolloin vuotuinen hukkaprosentti on 7,00 %.

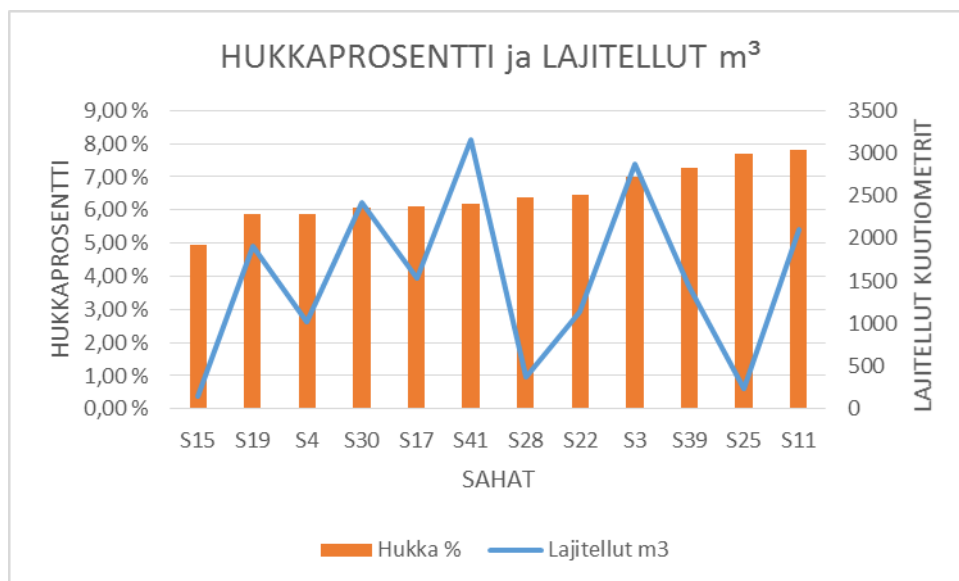
Eli molempien vuosien yhteenlaskettu kokonaiskuutiomäärä on 19 102,32 m³ ja hukkaprosentiksi saadaan 6,62 %.

Tarkastelussa on jätetty osa sahoista huomioimatta pienen kokonaiskuutiomäärän vuoksi (alle 150 m³), joka voisi vääristää tuloksia. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty 12 eniten sahatavaraa toimittanutta sahaa vuosille 2013 ja 2014 sekä niiden muut tunnusluvut. Tarkastelun kohteena olevien sahojen hukkaprosentti tippui hiukan 6,53 %:iin ja kokonaiskuutiomääräksi saatiin noin 18 376 m³ eli vajaan neljän prosentin ero, kun verrataan kaikkiin lajitelluihin kuutioihin.

Taulukko 7. Hukkaprosentti ja lajitellut m³ sahoittain. Pienimmän hukkaprosentin omaava saha ylimmäisenä.

Saha nro.	Hukka m ³	Lajitellut m ³	Hukka %
S15	7,50	151,59	4,95 %
S19	111,82	1907,75	5,86 %
S4	60,03	1021,23	5,88 %
S30	146,83	2423,96	6,06 %
S17	92,84	1525,67	6,09 %
S41	194,86	3156,82	6,17 %
S28	24,00	377,64	6,36 %
S22	73,87	1146,36	6,44 %
S3	200,26	2869,21	6,98 %
S39	104,56	1440,42	7,26 %
S25	18,76	243,46	7,71 %
S11	164,76	2111,67	7,80 %
YHT.	1200,09	18375,78	6,53 %

Taulukosta 7 on selkeästi nähtävissä sahakohtainen hukkaprosentti, jonka vaihteluväli on vajaasta viidestä prosentista vajaaseen kahdeksaan prosenttiin. Kuva 24 selventää vielä taulukon 7 sisällön visuaalisesti.



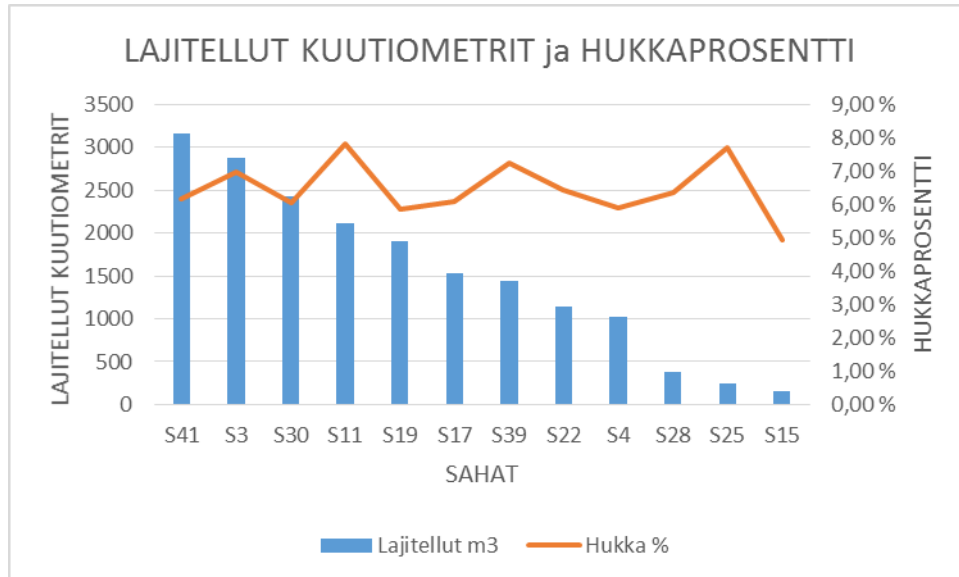
Kuva 24. Hukkaprosentti ja lajitellut m³ sahoittain. Hukkaprosentti oranssilla, vasen asteikko ja lajitellut kuutiometrit sinisellä, oikea asteikko.

Taulukkoon 8 määräväksi tunnusluvuksi on valikoitu lajiteltu kokonaiskuutiomäärä, joka vaihtelee noin 3150 m³:n ja 150 m³:n välillä.

Taulukko 8. Lajitellut m³ ja hukkaprosentti sahoittain. Eniten sahatavaraa toimittanut saha ylimmäisenä.

Saha nro.	Hukka m³	Lajitellut m³	Hukka %
S41	194,86	3156,82	6,17 %
S3	200,26	2869,21	6,98 %
S30	146,83	2423,96	6,06 %
S11	164,76	2111,67	7,80 %
S19	111,82	1907,75	5,86 %
S17	92,84	1525,67	6,09 %
S39	104,56	1440,42	7,26 %
S22	73,87	1146,36	6,44 %
S4	60,03	1021,23	5,88 %
S28	24,00	377,64	6,36 %
S25	18,76	243,46	7,71 %
S15	7,50	151,59	4,95 %
YHT.	1200,09	18375,78	6,53 %

Kuva 25 selventää taulukon 8 sisällön vielä visuaalisesti, josta nähdään selkeästi lajittelumäärien ero sahojen välillä.



Kuva 25. Lajitellut m³ ja hukkaprosentti sahoittain. Hukkaprosentti oranssilla, oikea asteikko ja lajitellut kuutiometrit sinisellä, vasen asteikko.

5.4 Taivutuskoetulosten tarkastelu ja analysointi murtumatyypeittäin

Taivutuskoetulosten tarkastelussa keskitytään ensisijaisesti eri murtumatyyppien tarkasteluun, jotka ovat SP, SE, S ja M.

Murtumatyyppi SP tarkoittaa murtumaa sormijatkoksen pohjasta, joka on oksavapaata-aluetta, jolloin tuloksella voidaan todentaa itse puuaineksen lujuus.

Murtumatyyppi SE tarkoittaa sekamurtoa, jossa ei yksiselitteisesti voida määritellä mitään edellä mainituista murtumatyypeistä, vaan murtuma tapahtuu usean murtumatyyppin variaationa.

Murtumatyyppi S tarkoittaa murtumaa sormiliitoksesta, jossa sormien liittämisessä on tapahtunut jokin normaalista poikkeava ilmiö. Kyseessä voi olla liiman ja / tai kovettajan levityksessä tapahtunut ongelma, liittämisvaiheessa

liian pieni tai liian suuri puristuspaine tai sormijatkoksen jysinterät ovat liaksi kuluneet (terät kyllä vaihdetaan teroitettuihin tietyn ajoajan täytyessä).

Murtumatyyppi M tarkoittaa murtumaa puusta eli murtuma johtuu useimmiten jostain puun viasta oksasta tai muusta vastaavasta, ja tapahtuu selkeästi sormijatkoksesta erillään.

Tarkastelemalla tuloksia murtumatyyppin SP lisäksi myös muita murtumatyyppejä (SE, S ja M) ja näiden keskiarvon ylittäviä tuloksia voidaan puun laadusta niin ikään vetää tiettyjä johtopäätöksiä puun lujuudesta. Eli murtuman tapahtuessa muualta kuin sormenpohjasta (SP) ja tuloksen ollessa yli keskiarvon, voidaan puuaineksen lujuudesta todeta sen olevan hyvää.

Latella on kaksi sormijatkoslinjaa (linja 1 ja linja 2). Mutta koska tämän tutkimuksen tarkoitus on tarkastella ainoastaan puuaineksen, eikä niinkään sormijatkoksen lujuutta, ei eri linjoilla jatketuilla kappaleilla ole suurtakaan merkitystä itse puuainekseen ja sen murtumaan, joten molempia linjoja tarkastellaan tässä yhtenä kokonaisuutena.

Linjoilta saadut taivutuskoetulosten viralliset keskiarvot ja keskihajonnat, kokonaiskappalemäärät sekä karakteristiset taivutuslujuudet ovat vuosille 2013 ja 2014 seuraavat. Tässä on siis mukana myös varsinaisen tarkastelun ulkopuolelle jääneet kappaleet:

- 2014 Linja I:

$$\text{Keskiarvo (KA)} = 52,7 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Keskihajonta (KH)} = 4,8 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Kokonaiskappaleet} = 243 \text{ kpl}$$

$$\text{Karakteristinen taivutuslujuus (KTVL)} = 43,39 \text{ N / mm}^2$$

- 2014 Linja II:

$$\text{Keskiarvo} = 49,2 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Keskihajonta} = 5,5 \text{ N / mm}^2$$

Kokonaiskappaleet = 546 kpl

Karakteristinen taivutuslujuus = 41,61 N / mm²

- 2013 Linja I:

Keskiarvo (KA) = 50,9 N / mm²

Keskihajonta (KH)= 6,3 N / mm²

Kokonaiskappaleet = 96 kpl

Karakteristinen taivutuslujuus (KTVL) = 42,54 N / mm²

- 2013 Linja II:

Keskiarvo (KA) = 49,9 N / mm²

Keskihajonta (KH)= 5,8 N / mm²

Kokonaiskappaleet = 705 kpl

Karakteristinen taivutuslujuus (KTVL) = 42,2 N / mm²

Valitaan murtumatyyppin SE, S ja M tarkastelualarajaksi pienin keskiarvo 49,2N/mm², joka pyöristetään lähimpään tasalukuun eli 49,0 N / mm².

Koekappaleita on yhteensä kahdelta vuodelta 1590 kpl.

5.4.1 Kaikki taivutuskoe tulokset vuosille 2013 ja 2014

Taivutuskoe pöytäkirjoista otettiin tarkasteluun luonnollisesti vain ne tulokset, joihin oli merkattu sahanumero (sahanumero ei ole pakollinen merkittävä). Tästä johtuen vuotuiset kappalemäärät ovat hiukan erilaiset, kuin yllä mainitut. Lisäksi painekyllästetyt ja leveydeltään yli 250 mm: set on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, kuten ne jätetään myös lujuuslajittelukoneen antamien tulosten osalta.

Liimapuun (Latella) valmistuksessa sahatavaran tavoitekosteus kuivauksessa on 10 – 12 %. Raja-arvot saavat vaihdella kuitenkin 8 – 13 prosenttiyksikön

välillä. Taivutuskoetapahtuman yhteydessä koekappaleista mitataan myös niiden kosteusprosentti, jonka keskiarvo on tarkasteltavilta kappaleilta 10,8 %.

Muut tarkastelun piirissä olevat arvot kaikkien sahojen ja murtumatyyppien osalta ovat:

- KA = 50,14 N / mm²
- KH = 6,64 N / mm²
- Kokonaiskappaleet = 1027 kpl
- KTVL = 41,31 N / mm²

Taulukossa 9 on esitetty kaikki tarkastelun piirissä olevat taivutuskoetulokset kaikkien murtumatyyppien osalta sekä muut keskeiset tunnusluvut sahoittain.

Taulukko 9. Taivutuskoetuloksien keskiarvot ja muut merkittävät arvot, sisältää kaikki murtumatyyppit. Suurimman karakteristisen (KTVL) taivutuslujuuden omaava saha ylinnä.

KAIKKI MURTUMATYYPIT							
Saha nro.	KA	KH	KPL	ALITUKSET	KH/KA (V{X})	K ₁	KTVL
S17	51,33	6,83	119	0	0,13	0,824	42,30
S41	50,99	6,48	176	2	0,13	0,824	42,02
S11	52,08	7,31	137	2	0,14	0,802	41,77
S3	50,36	6,68	229	8	0,13	0,824	41,50
S39	49,14	6,47	111	5	0,13	0,824	40,49
S30	47,91	6,05	140	6	0,13	0,824	39,48
S4	48,51	6,69	115	5	0,14	0,802	38,91
YHT.	50,14	6,64	1027	28	0,13	0,824	41,31

Taivutuskoetuloksia oli raportoitu lisäksi seitsemälle muulle sahanumerolle, mutta niiden kappalemäärät vaihtelivat 2 – 27 kappaleen välillä, joten ne on jätetty pois tarkastelusta liian pienen aineiston takia. Mikään tarkasteltava (taulukko 9) saha ei ylittänyt viiden prosentin sallittua alituksien määrää. Kahden sahan (S4 ja S30) karakteristinen lujuusarvo jäi alle 40 N/mm², mutta

ylitti MLT30 vaatimuksen, joka on 38,8 N/mm². EN14081 mukainen T-lajittelu on otettava käyttöön viimeistään elokuussa 2015. Tällöin joko 95 taivutuskoe-tuloksen 100:sta on oltava vähintään 40 N/mm², tai viidentoista viimeisen taivutuskoetuloksen karakteristisen arvon on oltava vähintään 40 N/mm². Toisin sanoen alituksien määrän ylittäessä viisi prosenttia, siirrytään tarkastelemaan 15 edellisen koekappaleen karakteristisia taivutuslujuusarvoja. Tarkastelussa on mukana kaikki murtumatyypit, joten tässä vaiheessa raaka-aineesta ja sen laadusta ei pystytä sanomaan mitään varmaa ja murtumat ovat hyvinkin voineet tapahtua esimerkiksi suurimmaksi osaksi sormista. Lisäksi on huomion arvoista mainita, ettei virallisissa yhteyksissä alituksia eikä mitään muitakaan arvoja tarkastella sahakohtaisesti, vaan yhtenä kokonaisuutena. Joka tapauksessa tutkimusta olisi syytä jatkaa tulevaisuudessa, jolloin suurempi tieto määrä tasoittaa yksittäisten vaihteluiden aiheuttamat heitot tilastossa ja näin ollen sahakohtainen tulos tarkentuu.

5.4.2 Taivutuskoetulokset murtumatyypille SP ja keskiarvon ylittävät tulokset

Seuraavaan taulukkoon 10 on kerätty kaikki tulokset sormenpohjista (SP) tapahtuviin murtumiin ja muiden murtumatyyppien keskiarvon ylittävät tulokset eli yli 49,0 N / mm².

Taulukko 10. Taivutuskoetulokset murtumatyypille SP ja muille yli 49 N / mm² murtumatyypeille. Ylimpänä taivutuslujuudeltaan (KA) paras saha.

MURTUMATYYPIT SP JA KAIKKI MUUT YLI 49 N / mm ² TULOKSET			
Saha nro.	KA	KH	KPL
S11	54,08	7,05	106
S17	52,84	6,51	98
S41	52,32	6,27	144
S3	51,65	6,42	191
S39	51,48	5,72	79
S4	50,57	6,96	81
S30	49,61	6,19	98

Näiden murtumatyyppien tarkastelussa keskitytään tarkastelemaan pelkästään keskiarvoa ja keskihajontaa, koska kerroin k_1 "rankaisee" kohtuuttomasti alle

100 kappaleen meneviä arvoja. Ja kappalemäärähän eivät todellisuudessa ole menneet niin pieneksi, vaan niistä on karsittu kappaleita pois. Karakteristisen taivutuslujuuden käyttö edellyttäisi suuremman datamäärän ”perkaamista”, jolloin kappalemäärästä johtuva heitto saataisiin pois, ja voitaisiin keskittyä todellisiin (karakteristisiin) lujuusarvoihin.

5.4.3 Taivutuskoetulokset murtumatyypille SP

Taulukkoon 11 on kerätty pelkästään murtumatyypin SP eli sormen pohjasta tapahtuvat murtumat. Tämänkin murtumatyypin tarkastelussa keskitytään tarkastelemaan pelkästään keskiarvoa ja keskihajontaa edellä minituin perustein.

Taulukko 11. Taivutuskoetulokset murtumatyypille SP. Ylimpänä taivutuslujuudeltaan (KA) paras saha.

MURTUMATYYPPI SP			
Saha nro.	KA	KH	KPL
S11	51,29	7,81	48
S17	50,57	6,04	54
S41	49,46	5,67	82
S3	49,41	6,26	121
S39	49,30	6,17	44
S4	48,86	7,29	54
S30	47,34	6,04	64

Tämänkin murtumatyypin parhaan tuloksen saa saha S11, mutta kyseisellä sahalla on myös suurin hajonta.

5.4.4 Yhteenveto taivutuskoetuloksista

Tarkasteltaessa kaikkia murtumatyyppejä yhdessä huomataan, ettei paremmuusjärjestys vaihdu lainkaan murtumatyypin vaihtuessa, kun tarkastellaan taivutuslujuuden keskiarvoa (huomio taulukossa 9 järjestys on karakteristisen taivutuslujuuden mukaan). Pieniä eroja huomataan ainoastaan keskiarvossa ja

keskihajonnassa. Mutta joka tapauksessa saha S11 saa tarkastelukulmasta riippumatta aina parhaimman taivutuslujuuden arvon ja S30 huonoimman. Keskimäärin vähän alle puolet kaikista tuloksista on SP- murtumatyyppiä, mikä ehkä osaltaan selittää eri murtumatyyppien tuloksien ”tasalaatuisuuden”, koska kyseinen murtumatyyppi kuvastaa puun laatua kokonaisvaltaisimmin. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että seuraamalla jatkossa kaikkia taivutuskoetuloksia ja kaikkia murtumatyypppejä, (mitä siis seurataankin, muttei sahakohtaisesti ja eri syistä) päästään riittävän tarkkaan sahakohtaiseen raaka-aineen lujuudesta kertovaan suureeseen.

5.5 Lajittelukoneen antama sahakohtainen suhteellinen laatujauma

Tässä lajittelukoneen antamaa tietoa kerätään ja tarkastellaan vuosilta 2013 ja 2014. Tarkasteltaessa tuloksia on myös huomion arvoista, että normien (GL30c) mukaan vähintään 34 % (17+17 %) lamelleista tulee olla I-laatua (MLT30). Alle tämän prosenttiosuuden jäävien sahojen puuttuva osuus on otettava yksinkertaisesti joltain muulta sahalta. Lisäksi tarkastelu rajoittuu pelkkään kuuseen suurimman leveyden ollessa 225 mm. Tämä siksi, koska lajittelukone antaa virheellisiä tuloksia tätä suuremmilla leveyksillä ja käytännössä leveimmät lamellit lajitellaankin pelkästään visuaalisesti. Tutkimuksessa huomioitujen dimensioiden ovat: 38x100, 38x125... 38x225 ja 50x100... 50x225, leveys kasvaa tuuman välein eli noin 25 mm:n.

Koneellisessa lajittelussa lamellit lajitellaan I-lamelleihin, II-lamelleihin ja III-lamelleihin (MLT30, MLT20 ja R eli niin sanottu ”raakki”). III-lamellit (R) eivät kelpaa sellaisenaan liimapuun valmistukseen, mutta lajittelemalla ne uudelleen visuaalisesti, on ne mahdollista korottaa ylempiin luokkiin. Esimerkiksi lamellin keskiosa on kuranttia tavaraa, mutta sen päät eivät, joten katkaisemalla lamelli oikein voidaan siitä saada I- tai II-lamelli.

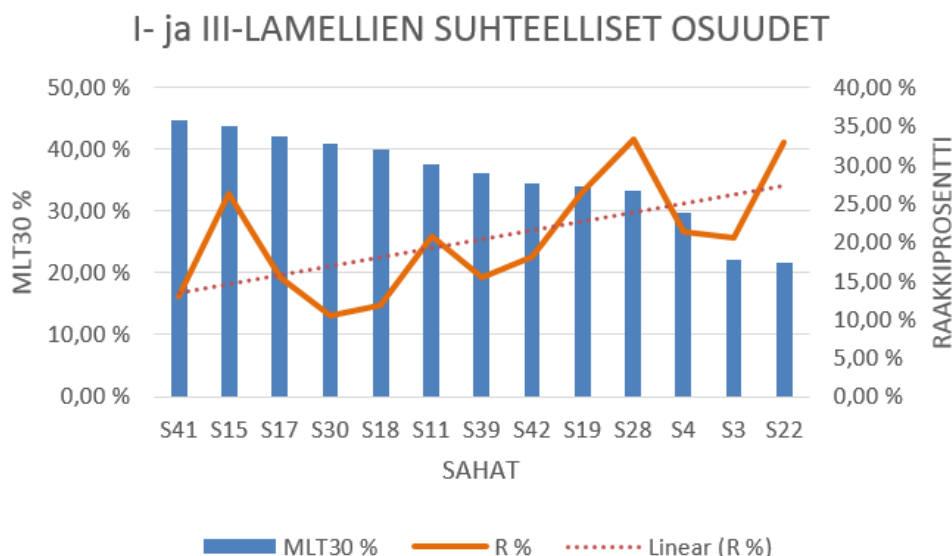
Tässä tutkimuksessa rajataan tarkastelu kuitenkin pelkän koneen antamaan laatujaumaan ja jätetään visuaalinen lajittelu pois.

Taulukkoon 12 on koottu I-lamellien (MLT30) sahakohtainen suhteellinen osuus kokonaistoimituksista. Yhdeksän ylintä sahaa täyttää 34 %:n vaatimuksen eli sahat S41, S15, S17, S30, S18, S11, S39, S42 ja S19. Lisäksi on positiivisesti

huomion arvoista, että tarkastelemalla kaikkien kappaleiden ja sahojen suhteellista MLT30- osuutta, täyttyy 34 %:n vaatimus. Eli sahat ovat keskimääräisesti lähettäneet laadullisesti riittävän korkeatasoista raaka-ainetta. Kuva 26 havainnollistaa tulokset vielä visuaalisesti.

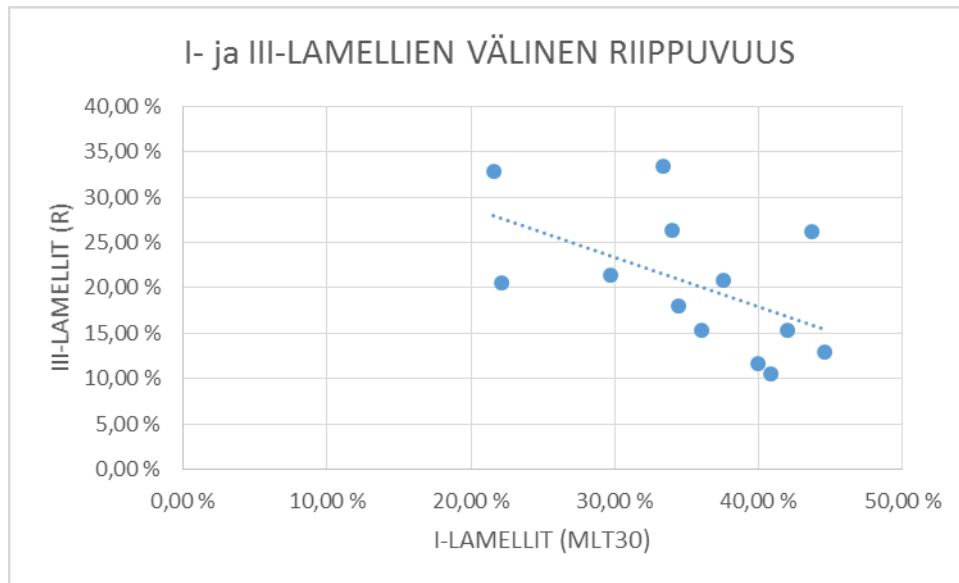
Taulukko 12. Lajittelukoneen antama laatujauma. Suhteellisesti eniten I-lamelleja (MLT30) omaava saha ylinnä.

SAHA NRO	MLT30 kpl	MLT20 kpl	R (=raakki) kpl	KPL YHT.	MLT30 %	MLT 20 %	R %
S41	37300	35503	10845	83648	44,59 %	42,44 %	12,97 %
S15	2792	1925	1676	6393	43,67 %	30,11 %	26,22 %
S17	20391	20667	7458	48516	42,03 %	42,60 %	15,37 %
S30	29392	35029	7560	71981	40,83 %	48,66 %	10,50 %
S18	1261	1528	370	3159	39,92 %	48,37 %	11,71 %
S11	22282	24677	12337	59296	37,58 %	41,62 %	20,81 %
S39	15926	21482	6773	44181	36,05 %	48,62 %	15,33 %
S42	761	1050	399	2210	34,43 %	47,51 %	18,05 %
S19	5839	6824	4528	17191	33,97 %	39,70 %	26,34 %
S28	2151	2148	2150	6449	33,35 %	33,31 %	33,34 %
S4	10345	17030	7438	34813	29,72 %	48,92 %	21,37 %
S3	16910	43720	15698	76328	22,15 %	57,28 %	20,57 %
S22	4213	8897	6405	19515	21,59 %	45,59 %	32,82 %
YHT.	169563	220480	83637	473680	35,80 %	46,55 %	17,66 %



Kuva 26. I- ja III-lamellien suhteelliset osuudet kokonaistoimituksiin. Vasemmalla suhteellisesti eniten I-lamelleja toimittanut saha. I-lamellien prosentuaalinen osuus sinisellä, vasen asteikko ja raakkiprosentti oranssilla, oikea asteikko.

Kuvasta 26 voidaan havaita, että I-lamellien suhteellisen määrän pudotessa nousee III-lamellien suhteellinen osuus. Raakkiprosentti (R) ei nouse aivan lineaarisesti, mutta trendi on selkeä (pisteviiva). Tämän vahvistaa myös Excelillä laskettu korrelaatiokerroin $r = -0,541$. Eli riippuvuus voidaan tulkita kohtalaiseksi ja miinusmerkki kertoo sen, että toisen muuttujan kasvaessa toinen pienenee (Lammi O. 2013, 126). Korotettuna korrelaatiokerroin toiseen potenssiin saadaan selitysasteeksi $r^2 = 29,3 \%$. Eli lähes kolmannes III-lamellien vaihtelusta on selitettävissä I-lamellien laadulla (tai toisin päin, korrelaatiohan ei kerro mitään kausaliteetista). Toisin sanoen puun laadun kasvaessa raakin osuus pienenee eli puun laatu (ja tiheys) kasvavat kokonaisuudessaan. Tämä ilmiö voi olla selitettävissä sillä, että koneellisessa lujuuslajittelussa kone mittaa muun muassa puun tiheyttä, joka näyttäisi vaikuttavan positiivisesti myös siihen, että raakkia syntyy sitä vähemmän mitä tiheämpää puu on. Kuvaan 27 on vielä sijoitettu havaintoarvojen (I- ja III-lamellien) välinen riippuvuussuhde.



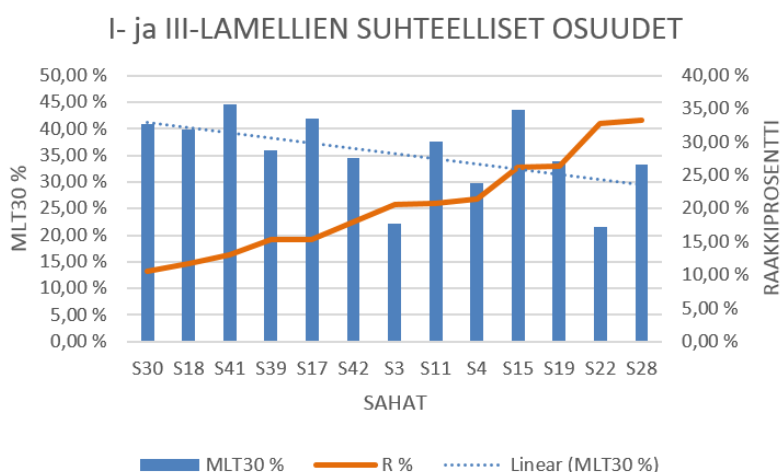
Kuva 27. I-lamellien ja III-lamellien suhteellisten osuuksien välinen riippuvuus ($r = -0,541$).

Taulukkoon 13 on koottu III-lamellien (R) sahakohtainen suhteellinen osuus kokonaistoimituksista. Taulukon arvot ovat samat, kuin taulukon 12, mutta lajittelun peruste on muutettu raakkiprosenttia korostavaksi. Kuten taulukosta nähdään raakin eli III-lamellien suhteellinen osuus nousee kohtuuttoman korkeaksi (huomattavasti korkeampi, kuin sahatavaran hukkaprosentti, johon siis III-lamellitkin ovat laskettu mukaan), mitä se ei kuitenkaan todellisuudessa ole, vaan raakit lajitellaan uudelleen, kuten jo aiemmin mainitsin. Eli raakki-lamellit lajitellaan visuaalisesti ja kurantit yli 1,5 m pätkät käytetään vähintään LT20-lamelleina. Mutta kuten jo aiemmin mainitsin, tutkimuksessa huomioidaan ainoastaan lajittelukoneen antamat tulokset eikä visuaalista lajittelua lasketa mukaan, vaikka se todellisuudessa nostaakin saantoa.

Taulukko 13. Lajittelukoneen antama laatujauma. Suhteellisesti vähiten III-lamelleja (R) omaava saha ylinnä.

SAHA NRO	MLT30 kpl	MLT20 kpl	R (=raakki) kpl	KPL YHT.	MLT30 %	MLT 20 %	R %
S30	29392	35029	7560	71981	40,83 %	48,66 %	10,50 %
S18	1261	1528	370	3159	39,92 %	48,37 %	11,71 %
S41	37300	35503	10845	83648	44,59 %	42,44 %	12,97 %
S39	15926	21482	6773	44181	36,05 %	48,62 %	15,33 %
S17	20391	20667	7458	48516	42,03 %	42,60 %	15,37 %
S42	761	1050	399	2210	34,43 %	47,51 %	18,05 %
S3	16910	43720	15698	76328	22,15 %	57,28 %	20,57 %
S11	22282	24677	12337	59296	37,58 %	41,62 %	20,81 %
S4	10345	17030	7438	34813	29,72 %	48,92 %	21,37 %
S15	2792	1925	1676	6393	43,67 %	30,11 %	26,22 %
S19	5839	6824	4528	17191	33,97 %	39,70 %	26,34 %
S22	4213	8897	6405	19515	21,59 %	45,59 %	32,82 %
S28	2151	2148	2150	6449	33,35 %	33,31 %	33,34 %
YHT.	169563	220480	83637	473680	35,80 %	46,55 %	17,66 %

Kuva 28 havainnollistaa tulokset vielä visuaalisesti, josta nähdään sama trendi, kuin edellä. Eli raakkiprosentin kasvaessa I-lamellien prosentuaalinen trendi pienenee.



Kuva 28. I- ja III-lamellien suhteelliset osuudet kokonaistoimituksiin. Vasemmalla suhteellisesti pienimmän raakkiprosentin (III-lamellit) omaava saha. I-lamellien (MLT30) prosentuaalinen osuus sinisellä, vasen asteikko ja raakkiprosentti oranssilla, oikea asteikko.

5.6 Tutkimuksessa saatujen suureiden välisten riippuvuuksien todentaminen

Tässä luvussa on tarkoituksena verrata keskenään lujuuslajittelukoneen antamaan suhteelliseen laatujakaumaan (MLT30) karakteristista taivutuslujuutta ja lajittelun hukkaprosenttia. Lisäksi lajittelun hukkaprosenttia verrataan taivutuskoe tulosten keskiarvoihin. Vertailussa on mukana kaikki tulokset kaikista murtumatyypeistä.

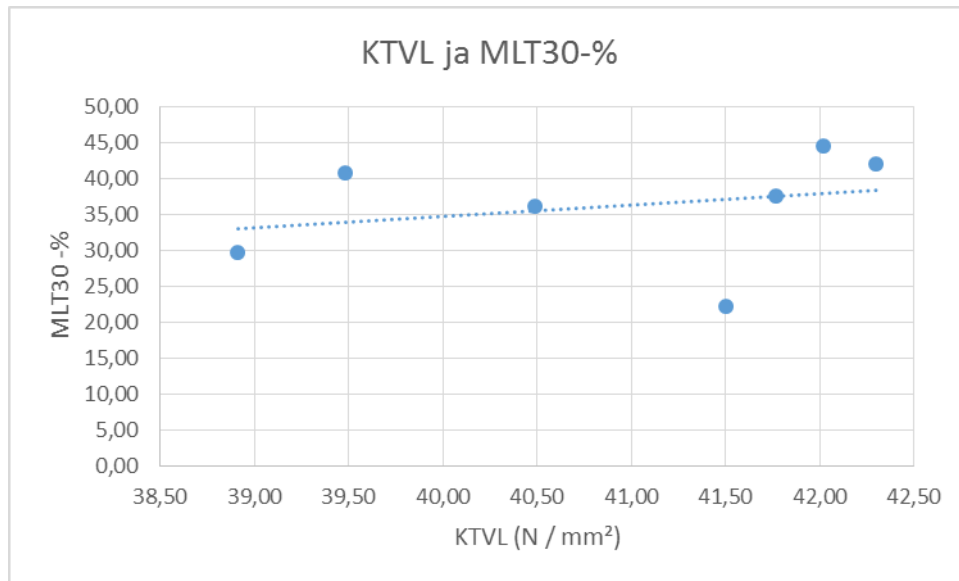
Kaiken kaikkiaan koekappaleita on satoja, mutta olemassa olevilla tiedoilla ei voida kuin vertailla keskiarvoja ja suhteellisia osuuksia toisiinsa, koska yksittäistä koelamellia ei voida tuotannossa seurata ja varmistaa sen päätymistä toisen kokeen koekappaleeksi. Näin ollen pieni otosmäärä voi jonkin verran vääristää tuloksia, eivätkä ne välttämättä kerro koko totuutta. Lisäksi sahoja on yhteensä 14 kpl, mutta vain puolella näistä oli kaikki tulokset kaikissa sarakkeissa, joten vertailuun on otettu mukaan vain seitsemän sahaa.

5.6.1 Karakteristisen taivutuslujuuden vertaaminen I-lamellien suhteelliseen osuuteen

Korrelaatiokerroin $r = 0,270$, riippuvuus on heikko

Merkitsevyysaste $r^2 = 7,27 \%$

Kuten korrelaatiokerroin ja kuva 29 osoittaa kyseessä olevien suureiden välinen riippuvuus on heikko ja vain noin seitsemän prosenttia toisen suureen vaihtelusta on selitettävissä toisen suureen arvoilla. Tämä on siinä mielessä yllättävää, koska teoriaosuudessa nimenomaan tiheydellä ja oksilla oli selkeä yhteys taivutuslujuuteen. Toisaalta poistaessa kolme ensimmäistä vasemmanpuoleista havaintoarvoa riippuvuus olisi selkeä, MLT30- osuuden kasvaessa karakteristinen taivutuslujuuskin kasvaisi. Luulen juuri havaintoarvojen vähyyden vaikuttavan tuloksien epäluotettavuuteen.



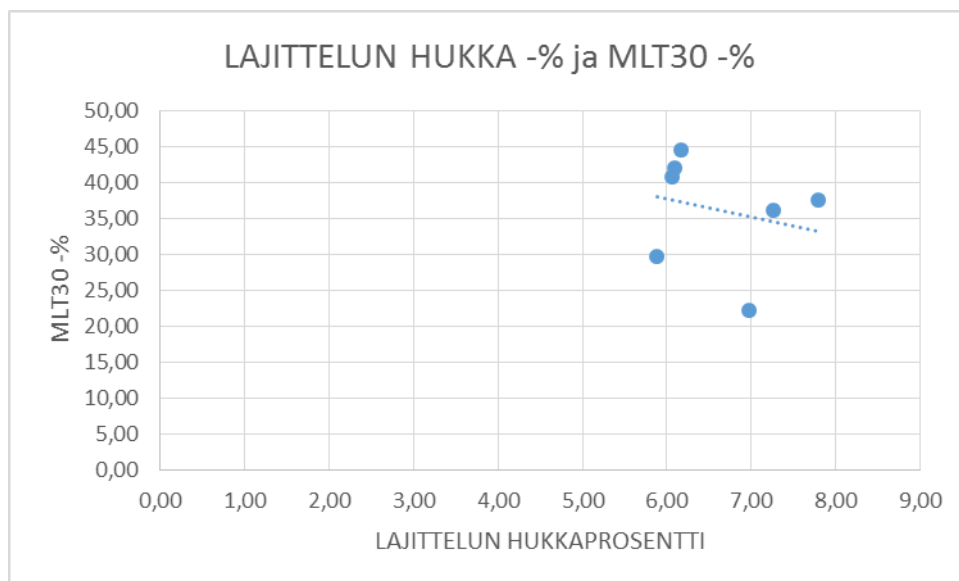
Kuva 29. Karakteristisen taivutuslujuuden vertaaminen I-lamellien suhteelliseen osuuteen.

5.6.2 Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen I-lamellien (MLT30) suhteelliseen osuuteen

Korrelaatiokerroin $r = -0,236$, riippuvuus on heikko

Merkitsevyysaste $r^2 = 5,59 \%$

Kuvasta 30 nähdään sama trendi kuten edellisestä luvusta, että I-lamellien osuuden kasvaessa hukkaprosentti pienenee. Merkitsevyys asteen pienuus (kun se oli III-lamellien kohdalla noin 30 %) voi olla selitettävissä sillä, että lujuuslajittelussa syntyvä raakki (R) lajitellaan visuaalisesti uudelleen. Lujuuslajittelukone perustaa päätöksensä eri luokkien välillä muun muassa tilavuuspainoon, jolloin vertailtaessa pelkästään koneen antamia tuloksia vertaillaan ensisijaisesti puun tiheyttä. Kun taas visuaalinen lajittelu keskittyy oksien kokoon ja paikkaan.



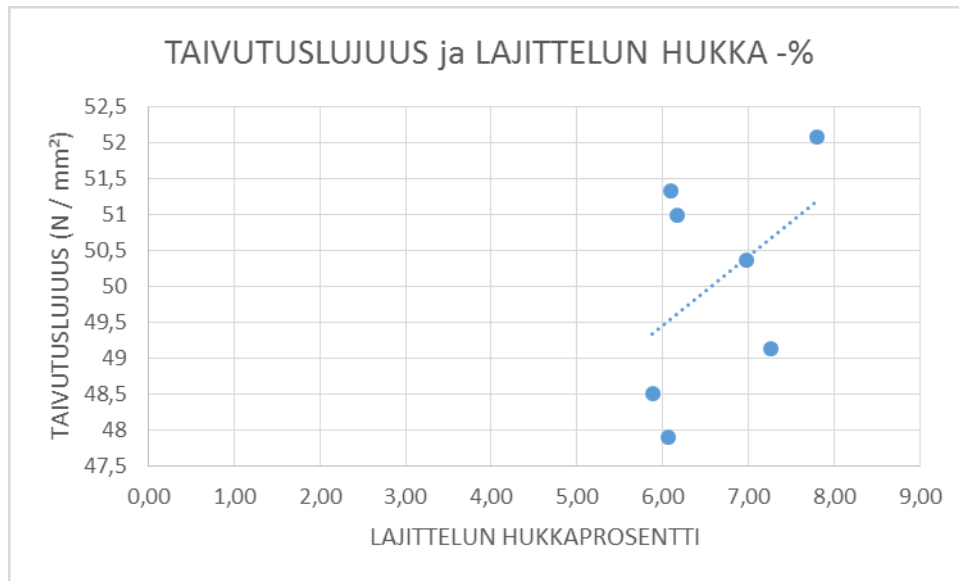
Kuva 30. Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen I-lamellien (MLT30) suhteelliseen osuuteen

5.6.3 Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen taivutuslujuuksien keskiarvoihin

Korrelaatiokerroin $r = 0,458$, riippuvuus on kohtalainen

Merkitsevyysaste $r^2 = 21,0 \%$

Kuvasta 31 nähdään olemassa oleva nouseva trendi, vaikka hajonta onkin melko suuri. Tässä selitykseksi kohtalaiselle korrelaatiolle voisi olla yleisimpien sahatavaran hukkaan vaikuttavat tekijät, joita ovat muun muassa oksaisuus, kierous ja mutkaisuus. Pelkästään oksaisuudella on taulukon 2 mukaan selitettävissä 16 – 27 % taivutuslujuudesta ja lamellin kierous voi olla seurausta syyhäiriöistä, mikä on puun lujuutta alentava tekijä. Poistamalla nämä ”viat” saadaan taivutuslujuusarvo korkeammaksi, jolloin myös hukkaprosentti lajittelussa kasvaa.



Kuva 31. Lajittelun hukkaprosentin vertaaminen taivutuslujuuksien keskiarvoihin

6 KEHITTÄMISTYÖN TULOKSET

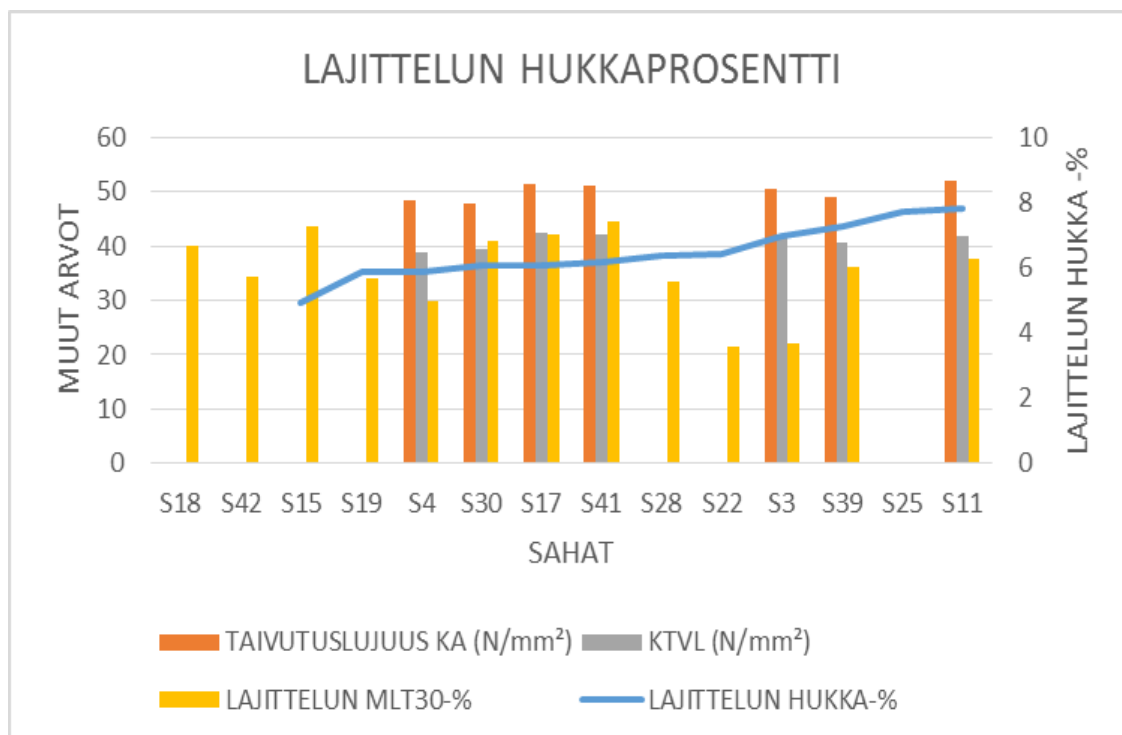
Seuraavassa esitetään kaikki työn tulokset taulukoituna ja kuvien kera. Kaikkien taulukoiden arvot ovat samat, mutta järjestys vaihtuu kyseisen otsikon mukaan parhaimmasta huonoimpaan. Esimerkiksi lajittelun hukkaprosentissa pienin hukka on ylinnä (muissa suurin arvo). Taivutuskoetuloksien (taivutuslujuus ja karakteristinen taivutuslujuus) arvoissa on käytetty kaikkien murtumatyyppien antamia arvoja. Kaikille sahoille ei saatu tulosta kaikkiin kohtiin, joten sarakkeissa on tyhjiä kohtia. Lisäksi luvussa 6.5 sahat ovat järjestetty paremmuusjärjestykseen huomioiden niiden sijoitukset lajittelutusta saatujen tunnuslukujen valossa.

6.1 Lajittelun sahakohtainen hukkaprosentti

Taulukko 14 osoittaa lujuuslajittelussa syntyneen hukkaprosentin suuruuden sekä muut tutkimuksen tulokset sahoittain. Kuva 32 visualisoi sahakohtaisesti eri muuttujien arvot, korostaen lajittelusta syntynyttä hukkaprosenttia, joka on merkitty sinisellä viivalla.

Taulukko 14. Lajittelun sahakohtainen hukkaprosentti. Ylimpänä pienimmän hukkaprosentin omaava saha S15.

SAHA N:RO	LAJITTELUN HUKKA-%	TAIVUTUSLUJUUS KA (N/mm ²)	KTVL (N/mm ²)	LAJITTELUN MLT30-%
S18				39,92
S42				34,43
S15	4,95			43,67
S19	5,86			33,97
S4	5,88	48,51	38,91	29,72
S30	6,06	47,91	39,48	40,83
S17	6,09	51,33	42,30	42,03
S41	6,17	50,99	42,02	44,59
S28	6,36			33,35
S22	6,44			21,59
S3	6,98	50,36	41,50	22,15
S39	7,26	49,14	40,49	36,05
S25	7,71			
S11	7,80	52,08	41,77	37,58



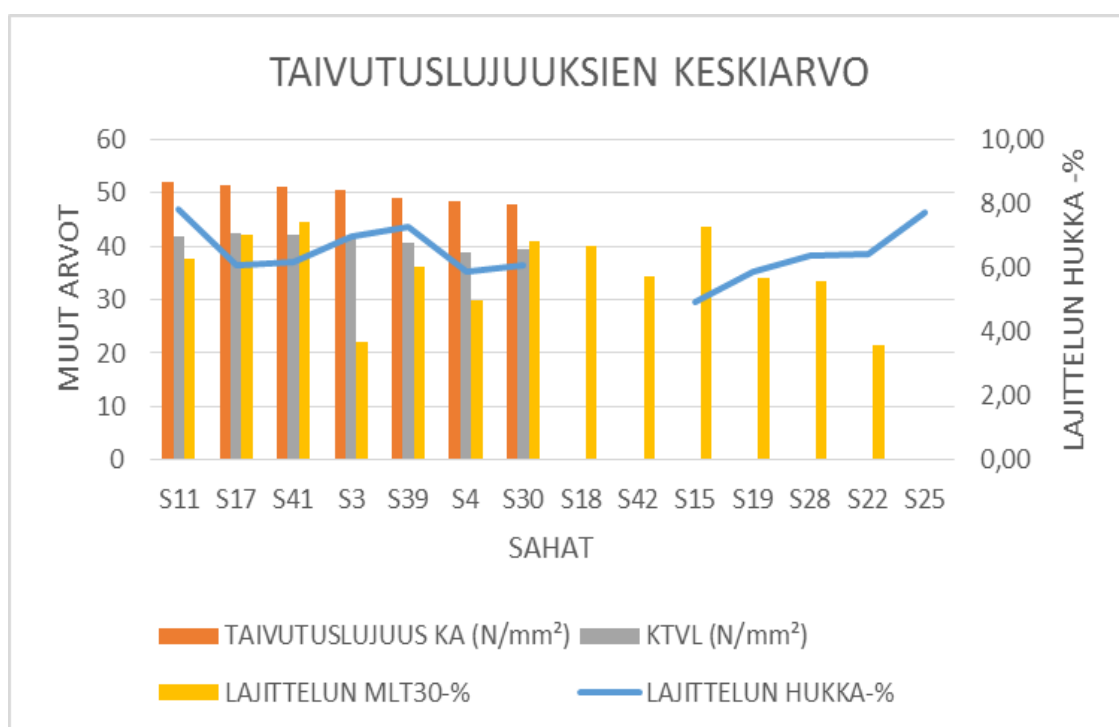
Kuva 32. Lajittelun hukkaprosentti. Hukkaprosentti sinisellä, oikea asteikko ja muiden suureiden arvot, vasen asteikko.

6.2 Sahakohtainen taivutuslujuus ja karakteristinen taivutuslujuus

Taulukkoon 15 tunnusluvut ovat järjestetty taivutuslujuuden mukaan, suurimmasta pienimpään arvoon. Sajojen S11 ja S30 taivutuslujuusarvojen ero on noin 4 N / mm². Kuva 33 visualisoi sahakohtaisesti eri muuttujien arvot, korostaen taivutuskoe tulosten keskiarvoa.

Taulukko 15. Sahakohtainen taivutuslujuuksien keskiarvo. Ylimpänä suurimman taivutuslujuuden omaava saha S11.

SAHA N:RO	LAJITTELUN HUKKA-%	TAIVUTUSLUJUUS KA (N/mm ²)	KTVL (N/mm ²)	LAJITTELUN MLT30-%
S11	7,80	52,08	41,77	37,58
S17	6,09	51,33	42,30	42,03
S41	6,17	50,99	42,02	44,59
S3	6,98	50,36	41,50	22,15
S39	7,26	49,14	40,49	36,05
S4	5,88	48,51	38,91	29,72
S30	6,06	47,91	39,48	40,83
S18				39,92
S42				34,43
S15	4,95			43,67
S19	5,86			33,97
S28	6,36			33,35
S22	6,44			21,59
S25	7,71			

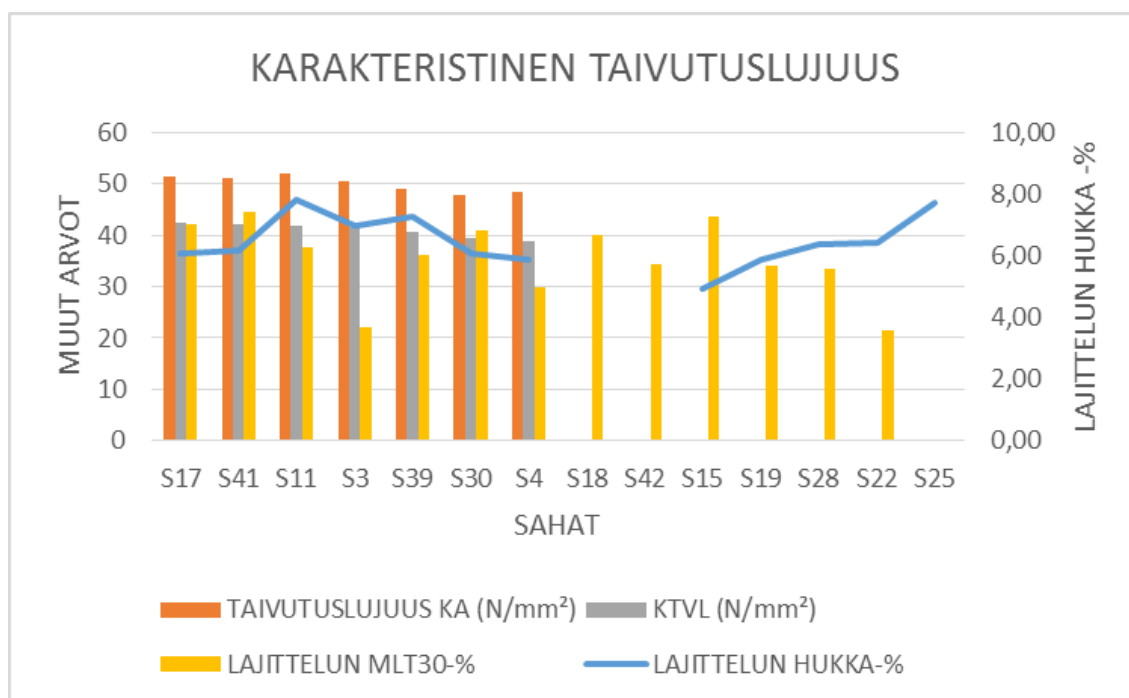


Kuva 33. Taivutuslujuuksien keskiarvot. Merkitty oranssilla, vasen asteikko.

Taulukkoon 16 tulokset on järjestetty karakteristisen taivutuslujuuden mukaan. Kuva 34 visualisoi sahakohtaisesti eri muuttujien arvot, korostaen karakteristista taivutuskoe tulosten keskiarvoa.

Taulukko 16. Sahakohtainen karakteristisen taivutuslujuuksien keskiarvo. Ylimpänä suurimman karakteristisen taivutuslujuuden omaava saha S17.

SAHA N:RO	LAJITTELUN HUKKA-%	TAIVUTUSLUJUUS KA (N/mm ²)	KTVL (N/mm ²)	LAJITTELUN MLT30-%
S17	6,09	51,33	42,30	42,03
S41	6,17	50,99	42,02	44,59
S11	7,80	52,08	41,77	37,58
S3	6,98	50,36	41,50	22,15
S39	7,26	49,14	40,49	36,05
S30	6,06	47,91	39,48	40,83
S4	5,88	48,51	38,91	29,72
S18				39,92
S42				34,43
S15	4,95			43,67
S19	5,86			33,97
S28	6,36			33,35
S22	6,44			21,59
S25	7,71			



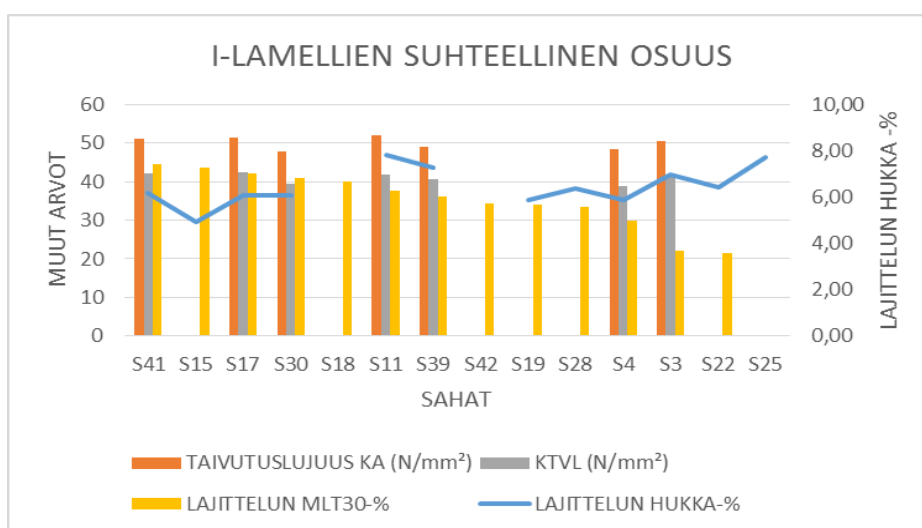
Kuva 34. Karakteristisen taivutuslujuuksien keskiarvot. Merkitty harmaalla, vasen asteikko

6.3 I-lamellien sahakohtainen suhteellinen osuus koneellisessa lujuuslajittelussa

Taulukkoon 17 tunnusluvut on järjestetty I-lamellien suhteellisen osuuden mukaan. Kuva 35 visualisoi sahakohtaisesti eri muuttujien arvot, korostaen I-lamellien osuutta.

Taulukko 17. Sahakohtainen I-lamellien (MLT30) suhteellinen osuus kokonaistoimituksista. Ylimpänä suurimman prosenttiosuuden omaava saha S41.

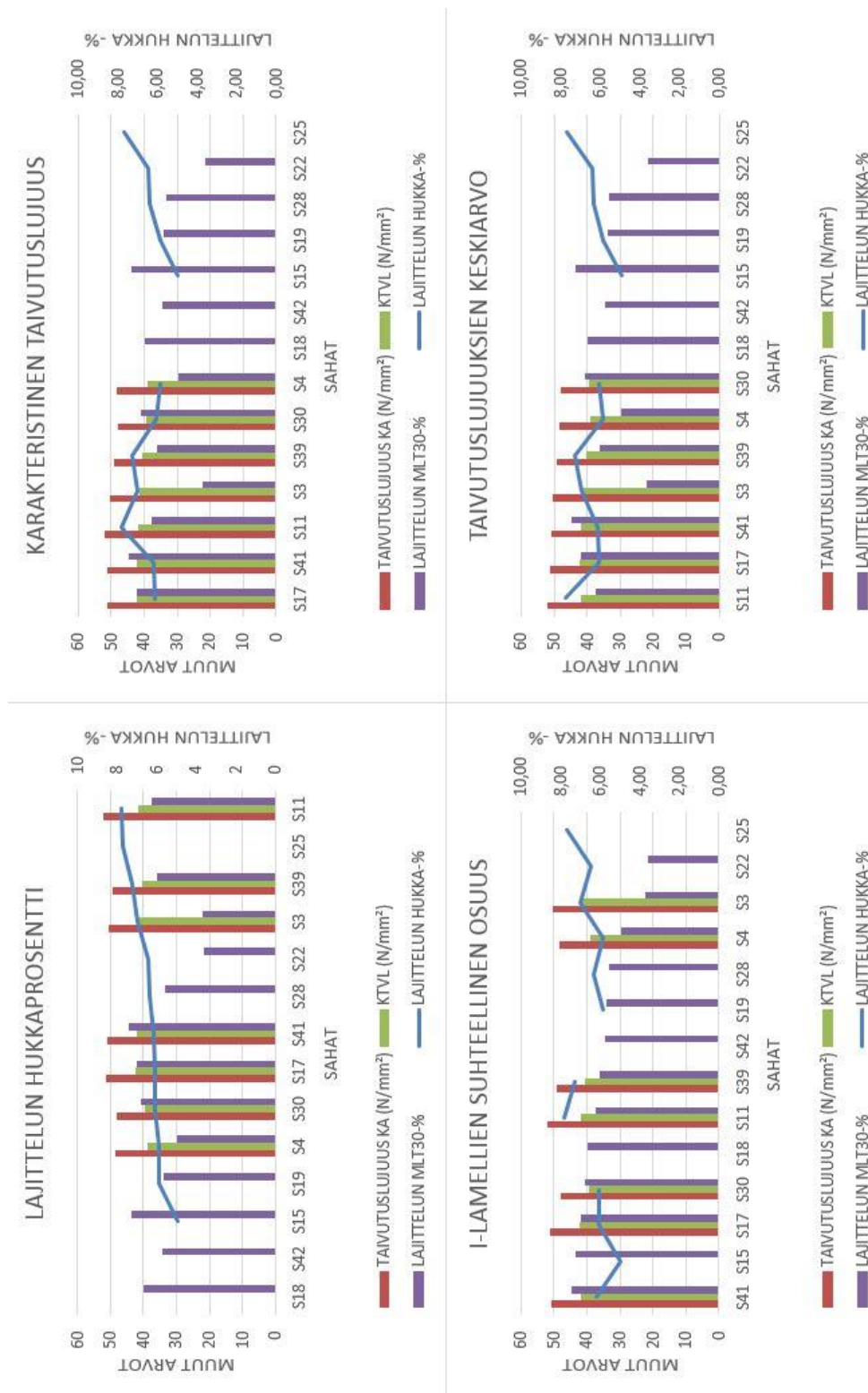
SAHA N:RO	LAJITTELUN HUKKA-%	TAIVUTUSLUJUUS KA (N/mm ²)	KTVL (N/mm ²)	LAJITTELUN MLT30-%
S41	6,17	50,99	42,02	44,59
S15	4,95			43,67
S17	6,09	51,33	42,30	42,03
S30	6,06	47,91	39,48	40,83
S18				39,92
S11	7,80	52,08	41,77	37,58
S39	7,26	49,14	40,49	36,05
S42				34,43
S19	5,86			33,97
S28	6,36			33,35
S4	5,88	48,51	38,91	29,72
S3	6,98	50,36	41,50	22,15
S22	6,44			21,59
S25	7,71			



Kuva 35. I-lamellien (MLT30) suhteellinen osuus. Merkitty keltaisella, vasen asteikko.

6.4 Yhteenveto kaikista tutkimustuloksista

Kuvaan 36 on kerätty kaikki tutkimuksessa tuotettu tieto, jotka myös edellä esitettiin.



Kuva 36. Kaikki tutkimustulokset.

6.5 Sahojen pisteytys sekä painotetun keskiarvon mukainen listaus

Sahat S18 ja S42 ovat poistettu tästä "ranking-listasta", koska niiltä puutui lajittelussa syntyneen hukan arvo. Lisäksi saha S25 on poistettu pääasiassa painekyllästettyä raaka-ainetta toimittavana sahana. Sahoilla S18 ja S42 oli myös pienimmät läpimenneet kappalemäärät lajittelussa, vain noin 2000 – 3000 kpl, kun parhaimmillaan sahakohtaiset kappalemäärät nousivat kymmeniin tuhansiin. Lisäksi pois jätettiin kokonaisuudessaan taivutuskokeiden tulokset, koska tuloksia oli vain seitsemälle sahalle ja nyt tarkoituksena on järjestää mahdollisimman moni saha, ja saada aikaan kattavin mahdollinen tulos.

Tarkastelussa sahat pisteytetään parhaimman tuloksen saaneesta sahasta huonoimpaan siten, että paras saa 11 pistettä ja huonoin yhden pisteen. Esimerkiksi taulukossa 18 saha S41 on saanut korkeimman tuloksen I-lamellien (MLT30) osuuden, joten se saa täydet 11 pistettä tästä kategoriasta.

Pisteytyksen jälkeen lasketaan sahakohtainen painotettu keskiarvo. Painotetun keskiarvon painokerroin saadaan, kun muutetaan lajitellut kokonaiskappalemäärät prosenttiosuuksiksi. Painotuksella on tarkoitus painottaa I-lamellien osuutta, koska pidän tätä kuitenkin tärkeämpänä kriteerinä liimapuun valmistuksen ja laadun kannalta, joka lopulta heijastuu koko yrityksen kannattavuuteen. Toki tärkeää on myös huomioida sahatavarahukka, koska liiketoiminnan kannalta tällä on huomattava merkitys. Esimerkiksi pienimmän ja suurimman hukkaprosentin ero on 2,85 %. Tämä on rahassa mitattuna jo aiemmin esittämäni raaka-aineen keskihinnalla (180 €) vuodessa noin 49 000 euroa. Painotettu keskiarvo huomioi kaikki toimitetut (ja lajitellut) kappaleet, ja antaa myös painoarvoa sahan toimittamille määrille, eikä katso pelkästään sokeasti järjestyspisteitä.

Taulukko 18 pisteyttää sahat I-lamellien suhteellisen osuuden perusteella ja taulukko 19 pisteyttää sahat lajittelusta syntyneen hukan perusteella.

Taulukko 18. Sahojen pisteytys I-lamellien osuuden perusteella.

SAHA N:RO	LAJITTELUN MLT30-%	MLT30 PISTEYTYS
S41	44,59	11
S15	43,67	10
S17	42,03	9
S30	40,83	8
S11	37,58	7
S39	36,05	6
S19	33,97	5
S28	33,35	4
S4	29,72	3
S3	22,15	2
S22	21,59	1

Taulukko 19. Sahojen pisteytys hukkaprosentin perusteella.

SAHA N:RO	LAJITTELUN HUKKA-%	HUKAN PISTEYTYS
S15	4,95	11
S19	5,86	10
S4	5,88	9
S30	6,06	8
S17	6,09	7
S41	6,17	6
S28	6,36	5
S22	6,44	4
S3	6,98	3
S39	7,26	2
S11	7,80	1

Taulukosta 20 ilmenee periaate painotetun keskiarvon kertoimen muodostumiselle ja se osoittaa sahojen toimittaman sahatavaran määrällisen järjestyksen ja niiden prosentuaaliset osuudet kokonaistoimituksesta. Kerroin on suoraan verrannollinen prosenttiosuuteen.

Taulukko 20. Lajitellut kokonaiskappalemäärät (pois lukien S18, S25 ja S42), niiden prosentuaalinen osuus kaikista lajitellusta kappaleista ja tästä muodostettu kerroin painotetulle keskiarvolle.

SAHA NRO.	LAJITELLUT KPL YHT.	PROSENTUAALINEN OSUUS KOKONAISTOIMITUKSISTA	PAINOTETUN KESKIARVON KERROIN
S41	83648	17,86 %	17,86
S3	76328	16,30 %	16,30
S30	71981	15,37 %	15,37
S11	59296	12,66 %	12,66
S17	48516	10,36 %	10,36
S39	44181	9,43 %	9,43
S4	34813	7,43 %	7,43
S22	19515	4,17 %	4,17
S19	17191	3,67 %	3,67
S28	6449	1,38 %	1,38
S15	6393	1,37 %	1,37
YHT.	468311	100,00 %	100

Taulukosta 21 ilmenee kaikki ne arvot, joita painotetun keskiarvon laskemiseen käytetään. Eli edellä esitetyt järjestyspisteet ja painokerroin. Sahat ovat järjestetty parhaimmasta painotetusta keskiarvosta huonoimpaan. Esimerkiksi saha S15 pitää ansaitusti 2. sijaa omaamalla hyvät järjestyspisteet, vaikkakin kokonaistoimitukset jäävät melko pieniksi. Tulosten arvoilla ei sinänsä ole mitään tekemistä sahan paremmuuden kanssa vertailtaessa sitä toisiin sahoihin, koska järjestys pisteet kuvastavat vain järjestystä ja korostavat niiden eroja suhteellisesti enemmän, kuin todelliset prosenttiosuudet. Pisteiden ainoa tarkoitus onkin vain järjestää sahat paremmuusjärjestykseen, ja kerroin ottaa huomioon toimituksien koon, mikä on mielestäni hyvin oleellinen tieto varsinkin kun tutkimustulokset pohjautuvat historiatietoihin.

Taulukko 21. Painotetun keskiarvon sahakohtainen arvo ja muut sen laskemiseksi tarvittavat suureet.

SAHA N:RO	MLT30 PISTEET	MLT30 KERROIN	HUKKAPISTEET	PAINOTETTU KA
S41	11	17,86	6	10,7
S15	10	1,37	11	10,4
S17	9	10,36	7	8,8
S30	8	15,37	8	8,0
S11	7	12,66	1	6,6
S19	5	3,67	10	6,1
S39	6	9,43	2	5,6
S28	4	1,38	5	4,4
S4	3	7,43	9	3,7
S3	2	16,3	3	2,1
S22	1	4,17	4	1,6

Taulukosta 21 näkee yksiselitteisesti paremmuusjärjestyksen, jossa saha S41 saa korkeimman ja S22 matalimman arvon. Tätä tietoa hyödyntämällä voidaan sahatavaraostoja suunnata laadullisesti parhaille sahoille, jolloin varmistetaan lopputuotteen hyvä laatu sekä yrityksen kannattavuus tulevaisuudessa.

7 YHTEENVETO

Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää Late-Rakenteet Oy:n saha-tavaratoimittajien toimittaman sahatavaran laatu kartoittamalla lujuuslajittelun hukkaprosentti, laadun jakautuminen koneellisessa lujuuslajittelussa ja tarkastelemalla taivutuskoetuloksia murtumatyypeittäin. Aineisto kerättiin olemissa olevista tietokannoista ja tutkimuksen teoriaosuudessa hyödynnettiin liimapuuhun ja sen raaka-aineeseen aiemmin tehtyjä tutkimuksia (muun muassa VTT:n tekemiä). Aineisto kerättiin ja analysoitiin kahdelta vuodelta eli vuosilta 2013 ja 2014. Aineisto saatiinkin helppolukaiseen ja käyttäjäystävälliseen muotoon. Oman hankaluutensa kuitenkin toi tutkimustulosten tulkinta. Esimerkiksi saha numero S41 oli saanut suurimman osuuden I-lamelleista, mutta vasta kuudeksi pienimmän hukkaprosentin. Tässä mielestäni painotettukeskiarvo auttoi tulosten järkevään järjestämiseen ottamalla molemmat järjestys pisteet huomioon, mutta painottamalla MLT30- järjestystä, sahan toimittaman sahatavaramäärän perusteella.

Toissijaisena tarkoituksena oli selvittää tutkimuksessa saatujen muuttujien välisiä riippuvuuksia. Vertailtaessa eri suureiden välisiä riippuvuuksia selvää yhteyttä ei pystytty todentamaan muille arvoille, kuin I-lamellien (MLT30) suhteelliselle osuudelle verrattaessa tätä III-lamellien suhteelliseen osuuteen, ja lajittelun hukkaprosenttiin. Tämä yhteys on toki luonnollinen, koska lajittelun hukkaprosenttiin on laskettu mukaan myös III-lamellit. Näiden suureiden (I- ja III-lamellit) välinen riippuvuus johtuu pitkälti tiheyden kasvusta, jota lujuuslajittelukone pitää yhtenä lajittelun perusteena. Lisäksi yhteys löytyi taivutuslujuuden ja hukkaprosentin välille. Tämä selittyy sahatavaran vikojen vahvalla vaikutuksella puun lujuuteen (jota myös työn teoriaosuus tuki). Poistettaessa kyseisiä vikoja hukkaprosentti nousee, mutta myös taivutuslujuus kasvaa.

Toisaalta eri suureiden välinen yhteys toisiinsa oli tutkimuksen toissijainen tarkoitus ja tutkimuksesta käy ilmi kaksi tärkeintä sahatavan hankinnan kannalta eli I-lamellien sahakohtainen suhteellinen osuus kokonaistoimituksiin, ja lajittelussa syntynyt sahakohtainen hukkaprosentti. Lisäksi nämä arvot saatiin määriteltä usealle sahalle.

Vaikka eri suureiden välinen riippuvuus olikin heikkoa, se ei tarkoita, etteikö niiden välillä olisi riippuvuutta. Pearsonin korrelaatiokerroin ilmaisee ainoastaan suureiden välistä lineaarista riippuvuutta, joten jokin toinen testausmenetelmä olisi voinut paljastaa riippuvuuden. Lisäksi tutkimusaineiston koko tuo oman epävarmuutensa tuloksiin, mitä henkilökohtaisesti epäilenkin syyksi korrelaation vähyydelle. Esimerkiksi taivutuskoekappaleita oli yli 1 000 ja lajittelukoneen läpi kulkeneita kappaleita liki puoli miljoonaa, oli tutkimuksessa vertailtava ainoastaan suhteellisia osuuksia ja keskiarvoja. Kuitenkin suureiden välisten riippuvuuksien vähyys oli pienoinen yllätys, kun otetaan huomioon tutkimuksen teoriaosuus, jossa esimerkiksi kimmokertoimella ja tiheydellä (joita lajittelukone pitää lajitteluperusteena) oli suuri vaikutus taivutuslujuuteen.

Tätä tutkimusta olisikin syytä jatkaa tulevaisuudessa, jolloin tarkasteltava aineisto kasvaisi ja tuottaisi näin ollen yhä tarkempia tuloksia. Kaikki tiedot syötetään joka tapauksessa käsin Excel-taulukoihin jo nyt, joten muutama lisäsyötesolu ei varmasti toisi liikaa vaivaa eikä työtä, kun huomioidaan tiedoista saatava hyöty. Varsinkin I-lamellien suhteellisen osuuden ja sahatavara-hukkaprosentin ”reaaliaikainen” tieto hyödyttää niin ostoa kuin tuotantoakin.

Lisäksi visuaaliseen muotoon saatettu tieto näyttää tulosten sahakohtaisen muutostrendin selvästi paljon ennen, kuin se olisi esimerkiksi pelkkien yksittäisten tulosten perusteella havaittavissa. Esimerkkinä voidaan mainita saha, jonka I-lamellien osuus laskee tietyn sahatavarakuorman osalta. Kokonaisuuteen verrattuna laadun lasku olisi kuitenkin mitätön, eikä aiheuttaisi suurempia toimenpiteitä.

Kaiken tämän lisäksi sain henkilökohtaisesti uutta oppia ja syventävää tietoa niin liimapuun raaka-aineen vaatimuksista kuin tilastollisista tutkimusmenetelmistä. Työn saattaminen valmiiksi oli sujuvaa ja sain tärkeitä neuvoja ja ohjausta työn erivaiheissa, joten lämmin kiitos kaikille tukihenkilöille ja varsinkin työni ohjaajille yliopettaja Vesa Virtaselle ja Late-Rakenteet Oy:n tekniselle johtajalle Antero Järvenpäälle.

LÄHTEET

Arkkitehtuurin Finlandia, Viitattu 31.12.2014

<http://www.arkkitehtuurinfinlandia.fi/fi/palkintoehdokkaat/>

Eduoulu. Viitattu 12.3.2015

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CD0QFjAF&url=http%3A%2F%2Fwwwedu oulu.fi%2Fhomepage%2Fjpeltone%2Ftilasto%2FLUKU72%2FLuku72.htm&ei=LKoBVZ7sluXqyQPqs4HwBw&usg=AFQjCNFfr5apXHWCISe md_lz9o5WjDPy4Q&bvm=bv.87920726,d.bGQ

Fagerstedt, K.; Pellinen, K.; Saranpää, P. & Timonen, T. 1996. Mikä puu – mistä puusta, Helsinki: Yliopistopaino.

Hoffmeyer, P.; Johansson, C-J.; Aasheim, E., Boström, L.; Brundin, J.; Fonselius, M.; Saarelainen, U.; Solli, K. & Morsing, N. 1995. Lujuuslajittelu nostaa jalostusarvoa. Osa 2 – Nykypäivän tekniikka, Nordic Wood, PLY, VTT.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät, Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Inlook. Viitattu 4.1.2015 http://www.inlook.fi/ajankohtaista/sisaverhousurakka_serlachius-museoon.1057.news

Isomäki, O.; Koponen, H.; Nummela, A. & Suomi-Lindberg, L. 2005. Puutuoteteollisuus 2: Raaka-aine ja aihiot, Opetushallitus, Helsinki: Edita Prima Oy.

Karjalainen, L. 2000. Tilastomatematiikka, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Kauppalehti Optio 14 / 2014

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet, Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy.

KvantiMOTV. Viitattu 19.1.2015

<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>

Lammi O. 2013. Excel 2013, Laatus taulukoihin, Jyväskylä: Docendo Oy, Saarijärven Offset Oy.

Late-Rakenteet Oy. Viitattu 30.12.2014 <http://www.late.net/?n=13043&Historia>

Late-Rakenteet Oy:n kuva-arkisto 2015

Liimapuu.fi, Viitattu 2.2.2014a http://www.liimapuu.fi/files/liimapuu.kotisivukone.com/tiedostot/ts-liimapuuluokka_gl30-rev-1.pdf

Liimapuu.fi, Viitattu 2.2.2014b

http://www.liimapuu.fi/files/liimapuu.kotisivukone.com/tiedostot/liimapuu_gl30_esite_2012.pdf

Carling, O. 2003. Liimapuukäsikirja, Wood Focus / Suomen Liimapuuyhdistys ry. Helsinki: Print & Media i Sundsvall AB.

Liimapuukäsikirja osa 1 2014, Suomen liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy. Helsinki: Libris Oy

Limab Oy. Viitattu 18.1.2015 http://www.limab.fi/fi/tuotteet/sahateollisuuden-tuotteet_puutavaran-lujuuslajittelu

Lindgren, C. 1997. Sahatavaran visuaalinen ja koneellinen lujuuslajittelu, Espoo: VTT Julkaisuja, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Metla. Viitattu 6.1.2015

http://www.metla.fi/tapahtumat/2010/WD2010/img/_U8R8530_eo0803.jpg

Metodix. Viitattu 12.3.2015

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.metodix.com%2Ffi%2Fsisallys%2F01_menetelmat%2F01_tutkimusprosessi%2F02_tutkimisen_taito_ja_tiedon_hankinta%2F09_tutkimusmenetelmat%2F61_korrelaatiokertoimet&ei=0ooBVYyhMYOWygOO6ILQBA&usg=AFQjCNFnjmu37dvYu4M7ttCqN8Mhulw4xg&bvm=bv.87920726,d.bGQ

Metsäwood. Viitattu 4.1.2015 <http://www.metsawood.com/fi/tuotteet/liimapuu/Pages/Kehat-ja-paakannattajat.aspx>

Puuinfo. Viitattu 29.12.2014a <http://www.puuinfo.fi/modernit-puukaupungit/puun%20asema%20rakentamisessa>

Puuinfo. Viitattu 29.12.2014b

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalot/puukerrostalo.pdf>

Puuinfo, Viitattu 29.12.2014c <http://www.puuinfo.fi/puu-materiaalina/sahatavaran-jatkojalosteet>

Puuinfo. Viitattu 31.12.2014d <http://www.puuinfo.fi/puun-lujuusteknisia-ominaisuuksia>

Puuproffa. Viitattu 6.1.2015 http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-rakenne

Sakki, J. 2009. Tilaus-toimitusketjun hallinta. B2B – vähemmällä enemmän, Helsinki: Hakapaino Oy.

Sipi, M. 2006. Puutuoteteollisuus 5: Sahatavaratuotanto. Opetushallitus, Helsinki: Edita Prima Oy.

Skidmore Owings & Merrill, SOM. Viitattu 29.12.2014 <http://www.som.com/FILE/20378/timber-tower-final-report-and-sketches.pdf>

Suomen standardisoimisliitto SFS, 2015. Standardit: SFS-EN 14080, SFS-EN 386, EN 408, EN 391, EN 14080:2013(E)

Tekniikka ja talous. Viitattu 29.12.2014

<http://www.tekniikkatalous.fi/insinööriutiset/korkeus+51+metria+14+kerrosta++maailman+korkein+puutalon+rakentaminen+alkoi/a1019223>

Tekninen johtaja 2014. Late-Rakenteet Oy, A. Järvenpää

Turku Energia. Viitattu 18.1.2015

<http://www.turkuenergia.fi/valopilkku/index.php?page=c5f374d3a0f2b2053251778ed4e2adc>

Varjonen, E. 2011. Liimapuun valmistus ja laadun valvonta, Kuopio. Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate Itä-Suomen yliopisto, Aducate Reports and Books.

Viitattu 6.1.2015

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fpublications.uef.fi%2Fpub%2Furn_isbn_978-952-61-0348-8%2Furn_isbn_978-952-61-0348-8.pdf&ei=F-2rVLjxlaT5ywPBloG4BA&usg=AFQjCNGNNNGWQllt7DeGCITRB8u0-XSO7g